



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MODELAGEM COMPUTACIONAL DE MUDANÇAS INCREMENTAIS EM
OBJETOS ESPACIAIS DA REALIDADE SOCIAL

Taciana de Lemos Dias

Tese de Doutorado em Computação Aplicada, orientada pelo Prof. Dr. Gilberto Câmara

INPE
São José dos Campos

2007



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**MODELAGEM COMPUTACIONAL DE MUDANÇAS INCREMENTAIS EM
OBJETOS ESPACIAIS DA REALIDADE SOCIAL**

Taciana de Lemos Dias

Tese de Doutorado Pós-Graduação em Computação Aplicada, orientada pelo Dr.
Gilberto Câmara, aprovada 17 de agosto de 2007.

INPE
São José dos Campos
2007

“A vida não é feita somente de hoje ou das idéias que temos agora, somente podemos ter maravilhoso futuro, se tivermos um magnífico passado, contudo para termos essa qualidades no passado e no futuro, temos que ter um presente digno”.

Nei Naiff, 2001

*Dedico a todos aqueles que
compartilharam momentos nesta fase da minha vida,
pois todos contribuíram para minhas mudanças pessoais.
Mudanças que me qualificam neste instante único...*

AGRADECIMENTOS

À Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL), e aos membros da sua diretoria nesses anos, pelo programa de capacitação TECNE que financiou parcialmente este trabalho.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Agradeço em especial aos meus orientadores aos quais eu devo muito mais do que esse Doutorado: ao Prof. Dr. Gilberto pelo seu olhar visionário e capacidade de identificar oportunidades e ao Prof. Dr. Frederico pelo seu conhecimento e praticidade. Ao Prof. Dr. Clodoveu e Prof. Dr. Andrew Frank, ambos pela sabedoria e disponibilidade.

Aos professores e colegas do INPE, em especial o Prof. Dr. Miguel, Prof. Dr. Banon, Prof. Dr. João Argemiro, Prof. Dr. Demísio, Prof. Júlio D'alge, Lúbia, Bianca, Gilberto Ribeiro, Karine, Cartaxo, Yuan, Láercio, Dielh e Camel.

À Helen, Janete, Carol e Vanessa, pela ajuda e delicadeza.

Aos colegas da PRODABEL, em especial, ao amigo Ildeu, Ângelo, Marconi, Esli, Zuppo, Osmar, Pedro, Thelma, Márcio, Ronald, Luiz e todos do Cadastro Técnico. Aos membros do grupo de Compatibilização de Lotes, principalmente Júlio de Marco, Maria Luiza e Roberto Freire, pela oportunidade de assimilar os conceitos necessários para a descrição do exemplo neste trabalho. Ao Marco Túlio, pelo apoio na realização deste trabalho e principalmente pela pessoa especial que demonstrou ser. Também não poderia deixar de agradecer as horas de conversa que tivemos.

Às minhas amigas Maria da Piedade, pela trajetória juntas, Mariamélia, pelo companheirismo e Maria de Fátima, pelo carinho.

Às minhas queridas irmãs Telma e Tânia, meu cunhado Clóvis, todos os meus sobrinhos, minhas afilhadas Ana Beatriz, Ana Carolina, Danielle e Laura, em especial meu afilhado Guilherme, meus sobrinhos Carine, Roberta, Clóvis Jr., Alexandre e ao Vítor Amaral, pela ajuda e amor, mesmo nos tempos de difícil compreensão.

A meus amados filhos, Taciana pela coragem e companheirismo e Gabriel, pela confiança e inocência. Ao José Ricardo pelos nossos filhos e pela sinceridade, respeito e carinho.

À minha amada mãe, Rosa Dias, *in memoriam*.

Agradeço a todas as pessoas que sabem e as que não sabem o quanto me ajudaram a concluir mais este projeto na minha vida.

À energia transcendental, que zela pelo meu aprimoramento espiritual.

RESUMO

A realidade social é determinada por uma variedade de fenômenos sociais que promovem mudanças pré-definidas, inter-relacionadas e que dependem da cognição humana. Essas mudanças são denominadas *incrementais*, pelas propriedades dos objetos espaciais afetados serem consideradas estáveis até a ocorrência de uma nova mudança. Essas modificações, geralmente, são conseqüências de atividades humanas, cuja semântica espaço-temporal está associada ao domínio de aplicação. Esta tese tem foco na modelagem de mudanças incrementais de objetos espaciais e, para isso, apresenta um modelo de operações em três níveis hierárquicos: operações básicas (mudanças fundamentais na identidade, forma geométrica ou características descritivas de objetos espaciais), operações atômicas (uma coleção de mudanças básicas que precisa acontecer ao mesmo tempo) e atividades determinadas em um plano de mudanças, associadas ao projeto que as promove. As atividades são definidas utilizando-se o mesmo conjunto de operações atômicas e básicas e adotando-se uma estratégia de composição de operações *bottom-up*. A proposta está centrada na obtenção da história dos objetos espaciais, recuperando as operações executadas em cada atividade realizada pelo Sistema de Informações Geográficas (SIG). Tal história é descrita através das operações executadas com os geo-objetos envolvidos. As contribuições da proposta são exploradas através de um exemplo de parcelamento do solo, em uma aplicação de cadastro urbano.

COMPUTATIONAL MODELING OF INCREMENTAL CHANGES IN SPATIAL OBJECTS OF THE SOCIAL REALITY

ABSTRACT

The social reality is determined by a variety of social phenomena that promote pre-determined and interrelated changes, which depend on the human cognition. They are called “incremental changes”, due to the fact they are considered solid ones in relation to the spatial objects, until a new change occurs. Incremental changes occur particularly in those related to human actions, whose spatio-temporal semantic is associated with the application domain. This thesis focuses on a modeling incremental changes in spatial objects, therefore it considers three categories of incremental changes: basic changes (fundamental changes on the identity, geometric shape or descriptive characteristics of spatial objects), atomic changes (a collection of basic changes that must occur at the same time), and activities determined by change plans, associated to the task that promotes such changes. The activities are defined by using the same collection of atomic and basic operations, adopting a bottom-up strategy. The proposal of this thesis is centered in obtaining the history of spatial objects by using the executed operations in each activity done by the GIS. Such history is described through the operations executed with the geographic objects involved. The contributions of this proposal are explored through an example of the parcel of urban land in an urban cadastre application.

SUMÁRIO

| | Pág. |
|---|-------------|
| SUMÁRIO | vii |
| LISTA DE TABELAS | xi |
| LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS | xiii |
| 1 INTRODUÇÃO | 23 |
| 1.1 Proposta da Tese..... | 24 |
| 1.2 Questão Científica, Hipóteses de Trabalho e Resultados..... | 25 |
| 1.3 Contribuições..... | 27 |
| 1.4 Organização do documento..... | 28 |
| 2 REPRESENTAÇÃO DA REALIDADE SOCIAL | 29 |
| 2.1 Realidades social e física..... | 29 |
| 2.2 Mudança Incremental..... | 34 |
| 2.3 Atividades de projetos..... | 36 |
| 2.4 Conclusão..... | 37 |
| 3 MODELOS ESPAÇO-TEMPORAIS | 39 |
| 3.1 Representação do tempo..... | 39 |
| 3.2 Representação do espaço..... | 43 |
| 3.3 Identidade, vida e evolução de geo-objetos..... | 44 |
| 3.4 Conclusão..... | 53 |
| 4 MODELO DE MUDANÇA INCREMENTAL | 55 |
| 4.1 Hierarquia de operações de mudança incremental..... | 56 |
| 4.2 Metodologia de modelagem de mudança incremental..... | 59 |
| 4.3 A temporalidade do modelo de mudança incremental..... | 60 |
| 4.4 Operações propostas de mudança incremental..... | 61 |
| 4.5 Composição da história de mudanças incrementais..... | 71 |
| 4.6 Conclusão..... | 72 |
| 5 MODELAGEM DE MUDANÇA INCREMENTAL DO CADASTRO URBANO | 75 |
| 5.1 Realidade social da aplicação do Cadastro Urbano de Belo Horizonte..... | 76 |
| 5.2 Geo-objetos para o exemplo do cadastro urbano..... | 79 |
| 5.3 Exemplos de atividades do cadastro urbano..... | 80 |
| 5.4 Questões das mudanças incrementais dos exemplos..... | 100 |
| 5.5 Conclusão..... | 105 |
| 6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS | 107 |
| 6.1 Trabalhos futuros..... | 108 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 111 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 3.1 – Variação do tempo contínuo e discreto..... | 40 |
| Figura 3.2 – Situações de mudanças espaciais no tempo | 46 |
| Figura 3.3 – Linha da vida (<i>Lifeline</i>)..... | 47 |
| Figura 3.4 – a) Primitivas de estados da identidade de geo-objetos e b) Primitivas de tipos de transição | 49 |
| Figura 3.5 – Unificação dos lotes A, B e C originais (a) através da operação <i>restructure</i> gerando os lotes D, F e E..... | 52 |
| Figura 4.1 – Hierarquia de operações do modelo de mudança incremental..... | 57 |
| Figura 4.2 – Registro de mudanças incrementais | 61 |
| Figura 4.4 – Operação atômica <i>destroy</i> | 66 |
| Figura 4.5 – Operação atômica <i>update</i> | 66 |
| Figura 4.6 – Operação atômica <i>join</i> | 67 |
| Figura 4.7 – Operação atômica <i>splinter</i> | 68 |
| Figura 4.8 – Operação atômica <i>evolve</i> | 69 |
| Figura 5.1 – Geo-objetos resultantes de cada atividade dos exemplos. | 83 |
| Figura 5.2 – Atividade <i>inicial</i> do projeto “Cadastro Inicial P0-P1”..... | 84 |
| Figura 5.3 – Descrição da história da atividade <i>inicial</i> do projeto Cadastro Inicial P0-P1. | 85 |
| Figura 5.4 – Atividade <i>reparcelamento de lote</i> do projeto “Reparcelamento P0”..... | 87 |
| Figura 5.5 – Descrição da história da atividade <i>reparcelamento de lote</i> do projeto “Reparcelamento P0”. | 88 |
| Figura 5.6 – Alguns geo-objetos do projeto “Duplicação da Av. Antônio Carlos”. | 89 |
| Figura 5.7 – Imagem de uma parte da avenida que será modificada..... | 90 |
| Figura 5.8 – Imagem da área preparada para execução do alargamento..... | 90 |
| Figura 5.9 – Atividade <i>alargamento de via</i> do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos". | 93 |
| Figura 5.10 – Descrição da história da atividade <i>alargamento de via</i> do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos" | 94 |
| Figura 5.11 – Atividade <i>desapropriação</i> do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos". | 96 |
| Figura 5.12 – Descrição da história da atividade <i>desapropriação</i> do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos" | 97 |
| Figura 5.13 – Atividade <i>alargamento de via</i> da visão <i>legal</i> da cidade. | 98 |
| Figura 5.14 – Atividade <i>modificação de parcelamento</i> do projeto "duplicação da Av. Antônio Carlos". | 99 |
| Figura 5.15 – Descrição da história da atividade <i>modificação de parcelamento sem história</i> do projeto "duplicação da Av. Antônio Carlos"..... | 100 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 2.1 – Camadas de ontologias. | 31 |
| Tabela 3.1 – Tempo de validade e tempo de transação | 42 |
| Tabela 3.2 – Operadores básicos de identidade de geo-objetos | 50 |
| Tabela 3.3 – Operadores de identidade de geo-objetos | 51 |
| Tabela 3.4 – Operadores de identidade <i>spawn</i> e <i>identify</i> | 52 |
| Tabela 4.1 – Funções de registro e validação de operações de mudança. | 62 |
| Tabela 4.2 – Operações de mudanças básicas propostas. | 63 |
| Tabela 5.1 – Alguns conceitos do cadastro urbano de Belo Horizonte. | 78 |
| Tabela 5.2 – Geo-objetos adotados no exemplo do cadastro urbano. | 80 |
| Tabela 5.3 – Atividades do exemplo do cadastro urbano. | 81 |
| Tabela 5.4 – Projetos x atividades dos exemplos do cadastro urbano. | 82 |
| Tabela 5.5 – Respostas às questões fundamentais da atividade <i>alargamento de via</i> do projeto "duplicação da Av. Antônio Carlos". | 102 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|----------|--|
| CDL | <i>Change Description Language</i> |
| CPM | <i>Critical Path Method</i> |
| CTCL | Grupo Técnico de Compatibilização de Lotes na PBH |
| CTM | Cadastro Técnico Municipal |
| GIS | <i>Geographical Information System</i> |
| LIS | <i>Land Information System</i> |
| ODIS | Ontology Driven Information Systems |
| PBH | Prefeitura Municipal de Belo Horizonte |
| PERT | <i>Program Evaluation and Review Technique</i> |
| SGBD | Sistema Gerenciador de Banco de Dados |
| SIG | Sistema de Informação Geográfico |
| TI | Tecnologia de Informação |
| SMRU | Secretaria de Regulação Urbana |
| SMAR | Secretaria Municipal de Arrecadação |
| PRODABEL | Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte |

1 INTRODUÇÃO

O mundo real é um ambiente muito complexo para ser representado em um computador, pois não se apresenta como um elemento estático de fácil reconhecimento e verificação. Ele se desenvolve como um organismo vivo em constante transformação, devido à atuação de vários agentes. Essa realidade é determinada por uma variedade de fenômenos físicos e sociais. É possível construir diferentes representações, conceitos e visões de uma mesma realidade e cada representação computacional corresponde a uma descrição formal dela. Tal descrição requer simplificar a realidade e identificar os fenômenos e entidades relevantes para um dado problema e, para isso, é preciso determinar as características essenciais deles.

Num sistema ideal, sua semântica reflete o modelo mental do usuário. Isso gera uma demanda por sistemas de informação capazes de representar adequadamente fenômenos e entidades complexas do mundo real. Para desenvolver um sistema de informação é necessário entender como as pessoas vêem o mundo e, através de um processo de abstração, elaborar um modelo para obter a visão parcial da realidade que interessa. O que se busca é minimizar as inconsistências e inexatidões embutidas nos modelos computacionais.

Esta tese discute o caso de sistemas computacionais que representam o espaço geográfico, ou seja, as tecnologias de geoinformação. Um sistema de informação geográfico (SIG) é um sistema computacional que captura, processa, armazena e apresenta dados geográficos. O SIG faz a gerência de dados geográficos que são dados relacionados ao espaço geográfico. Esse sistema realiza conversão de dados, consulta e análise espacial, álgebra de mapas, processamento de imagens e modelagem numérica de terreno (WORBOYS e DUCKHAN, 2004; CÂMARA, 2005).

O SIG é um instrumento fundamental para as análises nas mais diversas áreas de conhecimento, como a cartografia, recursos naturais, transporte, agricultura, comunicação, ambiental e criminalística. É muito útil para o planejamento e controle das cidades, nos processos naturais (erosão, ventos, chuvas, poluição, queimadas e

pragas) e tarefas sociais, como a implantação de novos loteamentos e alterações nas subdivisões administrativas (ASSAD e SANO, 1998; FRANK *et al.*, 2001; WORBOYS e DUCKHAN, 2004).

A modelagem computacional de informação espacial continua sendo, depois de décadas, um problema que desafia a comunidade de pesquisa em geoinformação (WORBOYS e DUCKHAN, 2004; EGENHOFER e FRANK, 1992; GOODCHILD, 1992; GAHEGAN, 1999; MARK *et al.*, 1999; EGENHOFER *et al.*, 1999; FRANK, 1999). Recentemente, houve um grande empenho de pesquisa em compreender e representar as mudanças ao longo da vida de objetos espaciais (MEDAK, 1999; HORNSBY e ENGENHOFER, 2000; FRANK, 2003; KUHN, 2001; CHEYLAN, 2001; GRENON e SMITH, 2003; WORBOYS e HORNSBY, 2004). Estudos incluem dinâmica do mundo para a realidade física e social e propostas de sua modelagem em banco de dados (SEARLE, 1995; FRANK, 1993). A motivação comum dessas pesquisas é modelar os aspectos dinâmicos do mundo, e superar a atual limitação de representações estáticas da tecnologia de geoinformação. Sistemas com informações espaciais explicitadas temporalmente deveriam poder responder perguntas como: “quais mudanças aconteceram em cada objeto?”, “quando elas aconteceram?”, “como as mudanças foram realizadas?” e “o que causou a mudança?”. Para respondê-las, é essencial criar modelos que possibilitem representar as mudanças em entidades espaciais. Com isso, é possível recuperar a história de um determinado objeto, desde a sua criação até o seu desaparecimento, junto com todas as mudanças que aconteceram ao longo de sua vida, as causas de cada mudança, e as referências dos objetos envolvidos ou relacionados à mesma ocorrência de mudança.

1.1 Proposta da Tese

Esta tese propõe uma metodologia para modelar mudanças incrementais em objetos espaciais. Tais mudanças podem acontecer em muitas situações representadas em aplicações do espaço geográfico, e estão relacionadas particularmente às ações humanas como, por exemplo, no cadastro urbano. Este trabalho parte de pesquisas no uso de ontologias para GIS de Fonseca *et al.* (2002) e na caracterização ontológica de

mudanças de Câmara *et al.* (2001). A partir dessa pesquisa foi produzido um resumo estendido aceito na conferência internacional GIScience 2004 (DIAS *et al.*, 2004) e um Capítulo de livro baseado no referencial teórico, “Modelos espaço-temporais” (DIAS *et al.*, 2005).

As hipóteses da tese, apresentadas na próxima Seção, baseiam-se no conceito de manutenção da *identidade* do objeto e nas operações durante a existência desse objeto, propostas por Hornsby e Engenhofer (1998, 2000). A partir das idéias de Medak (2001) e Frank (2003), buscou-se formalizar as operações em objetos e definir um conjunto básico de operações como base para modelar mudanças. O reconhecimento de que é essencial modelar os eventos que causam as mudanças para descrever como elas acontecem está fundamentado nos trabalhos de Frank (2003) e de Worboys e Hornsby (2004).

1.2 Questão Científica, Hipóteses de Trabalho e Resultados

A questão científica desta tese é “Como representar, recuperar e descrever a história de mudanças incrementais em objetos da realidade social?”.

As principais hipóteses de trabalho adotadas para a representação de mudanças incrementais da realidade social são:

- a descrição de mudanças da realidade social é baseada em um conjunto de operações que modificam os objetos espaciais;
- a identidade de cada objeto deve ser mantida ao longo do tempo;
- a vida de objetos espaciais pode ser representada pelas operações básicas na identidade, geometria e atributos desses objetos;
- a vida e evolução dos objetos espaciais de um domínio de aplicação podem ser descritas pela composição de operações executadas nos objetos;

- a história das mudanças em objetos espaciais de um domínio pode ser descrita através das ocorrências de atividades de um plano de mudança pré-definido.

Esta tese propõe uma metodologia para modelagem mudanças incrementais em objetos espaciais, capaz de registrar as informações necessárias para compor a história de mudanças nesses objetos, com as seguintes etapas:

- especificação de um conjunto de operações básicas necessárias para promover mudanças na identidade, geometria e atributos de objetos espaciais;
- definição de um modelo hierárquico de operações, objetivando minimizar a complexidade de definição das mudanças, adotando uma estratégia *bottom-up* que provê um conjunto de operações que seja suficiente para promover alterações em objetos espaciais;
- definição da lógica de construção da história de vida e evolução dos objetos espaciais a partir das atividades que realizam as mudanças;
- formalização da proposta através de funções executáveis, utilizando uma linguagem funcional.

A partir do modelo proposto, foram obtidos os seguintes resultados:

- desenvolvimento de um modelo computacional capaz de representar e descrever as mudanças incrementais em objetos espaciais da realidade social;
- implementação do modelo de mudanças incrementais, através de um protótipo, para representar e descrever tais mudanças;
- implementação de algumas atividades da realidade social, do domínio de aplicação do cadastro urbano da cidade de Belo Horizonte;

- avaliação comparativa dos resultados obtidos através do método com os produzidos no ambiente do caso de estudo exemplificado.

1.3 Contribuições

O modelo proposto nesta tese, baseado numa estratégia *bottom-up* que parte de operações elementares para construir modelos complexos de mudança, apresenta as seguintes contribuições:

- A definição de um conjunto básico de operações de mudança facilita a compreensão da semântica de mudanças do domínio de aplicação.
- A hierarquia *bottom-up* de operações de mudança possibilita minimizar a complexidade de modelo, através de um conjunto de operações mais simples.
- A adoção de um conjunto de operações de mudança padrão específica de um domínio de aplicação facilita a construção da história de mudanças nos objetos espaciais.
- O modelo de mudança incremental provê informações suficientes para apoiar os agentes envolvidos nas atividades de mudança.

A maior diferença desta proposta em relação às existentes está no uso de uma hierarquia multi-nível para compor a história de mudanças dos objetos geográficos. As propostas de Hornsby e Engenhofer (1998, 2000), Medak (1999) e Frank (2003) usam apenas um único nível de operações primitivas. Eles não discutem em detalhe como essas operações podem ser combinadas para gerar descrições semânticas próximas do modelo mental do usuário. A proposta de modelo de mudança baseada em eventos de Worboys (2005) é genérica e não facilita a descrição de operações de mais alto nível. Não é fácil para um modelo puramente orientado a eventos capturar a semântica das intenções de mudança. Considera-se que a modelagem proposta permite uma representação da vida e evolução de geo-objeto semanticamente mais próxima da realidade modelada.

1.4 Organização do documento

Os Capítulos desta tese estão organizados da seguinte maneira:

No Capítulo 2 é apresentada a base teórica de representação computacional da realidade social e de mudanças. Também são esclarecidos alguns termos que fazem parte do referencial teórico que subsidia o tema.

No Capítulo 3 são investigados os aspectos que envolvem a representação dos objetos do mundo real no espaço e no tempo. São abordadas as alternativas de representação do espaço e do tempo em bancos de dados e uma revisão mais detalhada de trabalhos anteriores sobre operadores de mudanças, já mencionados nesta introdução.

No Capítulo 4 são descritos o modelo de mudança incremental proposto, a estratégia para composição de modelos de operações de mudança, o método para representar mudanças incrementais da realidade social e, também, a obtenção da história de mudanças em objetos espaciais.

No Capítulo 5 o modelo proposto é exemplificado através de uma aplicação típica da realidade social - o cadastro urbano de Belo Horizonte. Para isso, são descritos alguns conceitos do domínio de cadastro urbano e os requisitos necessários para um bom sistema de informação cadastral. É apresentada a estrutura da realidade de um cadastro urbano municipal, são destacadas as possíveis mudanças de um objeto urbano ao longo da sua existência e é definido um conjunto de atividades que promovem mudanças incrementais em objetos urbanos para validar o modelo de mudança incremental proposto. Também é descrita a história de mudanças nos objetos através das atividades realizadas.

No Capítulo 6 são fornecidas as conclusões da tese e apresentadas possibilidades de trabalhos futuros.

2 REPRESENTAÇÃO DA REALIDADE SOCIAL

Este Capítulo descreve os principais conceitos para representação da realidade social e suas mudanças em sistemas de informação geográficos. Cada aplicação, inclusive a que utiliza um SIG, deve capturar a semântica do seu domínio e determinar a sua melhor representação para o sistema de informação. Para isso, são descritas algumas classificações de ontologias, exemplificados os conceitos de mudanças e como essas podem ser definidas em planos de ação. Inicialmente é feita a distinção das realidades social e física, com exemplos da realidade social, seguido da descrição de mudança incremental e como as ações de mudanças podem ser dispostas em uma rede de atividades.

2.1 Realidades social e física

Segundo Searle (1993), a realidade tem existência independente da sua representação, e as palavras são instrumentos de expressão dessa realidade. As afirmações sobre uma realidade correspondem a fatos do mundo. Uma afirmação é verdadeira se ela representa exatamente uma característica da realidade que existe, independentemente da afirmação. O mundo *físico* independe das representações e afirmações que o ser humano faz sobre ele, como, a existência de gelo nos pólos da terra. Porém, existe o mundo *social*, que é totalmente dependente de representações, afirmações e convenções humanas, como o fato de um papel ser um documento oficial (certidão de casamento, registro de imóvel, carteira de identidade e outros) representando, por exemplo, conceitos abstratos como uma pessoa casada, a propriedade de um imóvel ou a prova de identidade de uma pessoa.

Uma parte da realidade social é institucional, pois é determinada por instituições. A realidade institucional, diferentemente da realidade física, depende da cognição humana (SEARLE, 1995). Os agentes institucionais são os responsáveis pela definição de um conjunto de conceitos sobre o fenômeno analisado (SMITH e SEARLE; 2001). A realidade institucional e sua linguagem simbólica só têm significado dentro de um

contexto (FRANK e WINTER, 1997). Essa realidade pode ser diferente entre departamentos, organizações, municípios, estados ou países (SMITH e MARK, 1998).

Devido à existência de diferentes comunidades com diferentes percepções da realidade, é difícil obter um conjunto abrangente e coerente de conceitos mentais para um universo de estudo (FRANK e WINTER, 1997). Sendo assim, é importante desenvolver sistemas de informação baseados em uma definição prévia dos conceitos adotados, de acordo com sua realidade e contexto. Esses são sistemas de informação dirigidos por ontologias (ODIS - *Ontology Driven Information Systems*) (FONSECA e ENGENHOFER, 1999). As *ontologias* correspondem a uma formalização explícita dos modelos mentais de uma comunidade para uma parte da realidade do mundo que é considerado no universo de discurso do domínio representado (GUARINO, 1998). Essas ontologias são criadas com o principal propósito de serem reusáveis por todos os que pertencem ao mesmo domínio (FONSECA, 2001).

Para os sistemas de informação, o universo ontológico determina os conceitos em que os objetos estão inseridos associados à realidade a ser representada no computador. Esses conceitos identificam os termos adotados e as entidades. Conforme Guarino (1997), uma *ontologia de aplicação* descreve o vocábulo dependente de uma atividade ou tarefa específica de um domínio. Assim, informalmente definida por Gruber (1995), ontologias de aplicação são acordos sobre conceitos compartilhados por uma comunidade (SMITH, 2003; USCHOLD e GRUNINGER, 2001). As ontologias de aplicação associadas aos conceitos geográficos são denominadas *geo-ontologias*. Esses conceitos estão relacionados aos objetos espaciais, às suas características e tipos, as mudanças que podem ocorrer em suas características, ao modo, como existem, surgem, são divididos em partes e ocupam o espaço (SMITH, 2001; CÂMARA *et al.*, 2001).

Para escolher ou construir geo-ontologias, são indispensáveis acordos básicos entre as comunidades de usuários, acordos esses mais fáceis de serem alcançados quando obtidos a partir de pequenas comunidades agrupadas por área de conhecimento, que buscam determinar o significado ou a semântica das entidades do mundo (FRANK, 2003). Esses acordos têm que existir, principalmente, entre os produtores e

consumidores de informação de um domínio de aplicação que passam a utilizar a mesma terminologia, minimizando a ambigüidade e facilitando a comunicação, representação e compreensão de um conceito (KUHN, 2001).

Geo-ontologias almejam um desenvolvimento mais ágil das aplicações e maior reusabilidade das soluções, pois, diferentes comunidades, podem compartilhar os conceitos semânticos de determinado domínio. Esses conceitos seriam ampliados para comunidades maiores, com ou sem modificações no seu significado (FRANK e WINTER, 1997). Eles seriam representados diretamente no esquema de banco de dados e na interface do usuário (FRANK, 2003; FONSECA e MARTIN, 2005; 2007).

Frank e Winter (1997), diante de tanta diversidade semântica, propuseram geo-ontologias multi-camadas e um conjunto de regras que são aplicadas por camada (Tabela 2.1). Eles definiram cinco camadas que auxiliam na identificação dos diversos compromissos para a construção de geo-ontologias. Essas camadas iniciam com as ontologias relativas à existência e localização física e evoluem em direção aos aspectos relativos às regras culturais e sociais.

Tabela 2.1 – Camadas de ontologias.

| Camada | Nome | Descrição |
|---------------|-----------------------------|--|
| 0 | <i>Realidade física</i> | Existe uma única realidade física com um conjunto de propriedades para todo ponto do espaço em um determinado instante de tempo. |
| 1 | <i>Realidade observável</i> | São as propriedades observadas (na camada 0) para uma determinada região do espaço e corresponde a uma aproximação incompleta e imprecisa. |
| 2 | <i>Mundo de objeto</i> | Os objetos são contínuos no tempo e são definidos por propriedades uniformes para regiões no espaço e tempo. Eles são construídos por cognição humana. |
| 3 | <i>Realidade social</i> | Os processos sociais criam nomes e suas regras criam fatos e relacionamentos que somente são válidos para um determinado contexto social. |
| 4 | <i>Agentes cognitivos</i> | Eles usam seus próprios conhecimentos para derivar novos fatos e tomar decisões. |

. Fonte: adaptado de Frank e Winter (1997)

A realidade física existe independentemente de um observador e tem o espaço e o tempo como dimensões fundamentais. As camadas de 1 a 4 focalizam diferentes conceitos da

realidade e dependem de um observador. A realidade física (camada 0) é observada pelos agentes cognitivos (camada 4) que, através de suas convicções individuais, conceituam (produzem um conceito com acordo coletivo) a realidade física em termos de objetos (camada 2). Os agentes cognitivos, aplicando as regras sociais nos objetos identificados do mundo real, constroem a realidade social (camada 3). Os fatos sociais existem somente na mente humana, são origens das convicções individuais e consideram as condições dos objetos, eventos ou relações entre objetos (BITTNER, 2001). Para representar a realidade social em um SIG, é necessária uma ontologia de mudança que inclua espaço, tempo, objetos, termos, atividades, regras e restrições (FRANK; 1998, 2003).

A seguir, é apresentada uma breve descrição do domínio de aplicação de cadastro urbano, como um exemplo de sistema de informação da realidade institucional.

2.1.1 A realidade social do Cadastro Urbano

A realidade das cidades, dentro do contexto físico e territorial, não se apresenta como um elemento estático de fácil reconhecimento e verificação. Ela se desenvolve como um organismo vivo em constante transformação. Essa realidade é determinada por uma variedade de fenômenos físicos e sociais.

Um sistema de informação cadastral (LIS - *Land Information System*) é, geralmente, uma ferramenta de responsabilidade pública. Ele é essencial para a administração das cidades e para o planejamento urbano, envolvendo áreas responsáveis pelas informações legais, sociais, administrativas, econômicas e de meio ambiente (AL-TAHA, 2001). A palavra “cadastro” é derivada do termo grego “katakastichon” que significa caderno. Esse termo grego evoluiu para a palavra romana “capastrum” que significava a coleção de registros das unidades de tributação das províncias romanas territoriais. A necessidade de informações de cadastro da terra é historicamente identificada em tabelas de barro da Babilônia, desde 4000 A.C. Elas foram desenvolvidas para identificar os proprietários das unidades de terra com a finalidade de cobrança de impostos e, posteriormente, para o controle da arrecadação e localização dessas propriedades.

Segundo Dale e McLaughlin (1988), em geral um cadastro é sistemático e contém informações atualizadas sobre as parcelas de terra. As parcelas de terra são as porções de terra ou terrenos individualizados, denominados *lotes* ou *áreas urbanas*, nas quais a população realiza a ocupação do solo e desenvolve diversos tipos de atividades econômicas. Elas são as bases para implantação, licenciamento e tributação de atividades econômicas ou de edificações (PBH, 2003). Esse sistema possibilita o acompanhamento da evolução da cidade em relação ao parcelamento do solo e provê informações de cada parcela como a sua identificação, localização e propriedade (NRC, 1983).

Sistemas de informação cadastral são altamente condicionados pela legislação, por normas e regras institucionais, por procedimentos e convenções administrativas. Esses instrumentos podem mudar ao longo do tempo. Essas mudanças ocorrem por causa de novas diretrizes, do aperfeiçoamento dos processos administrativos devido a erros e a inconsistências detectadas pelo aperfeiçoamento dos sistemas informatizados e, também, por maior conhecimento e maturidade dos agentes públicos da realidade em que um cadastro está inserido. É através da análise desses instrumentos que se pode extrair as regras que constituem a realidade institucional (PBH, 2003).

O lote é um fato institucional. O fato institucional produz conceitos que independem de propriedades físicas; por exemplo, o conceito de “proprietário”, uma pessoa “ser o proprietário” de um lote. O conceito de “proprietário” foi definido porque todas as outras pessoas aceitam e reconhecem o fato de que ela é proprietária do imóvel, ou seja, é dependente de uma intencionalidade coletiva. Um lote e seus limites são fatos institucionais, pois, para existirem, dependem da cognição e de acordos humanos. Um sistema de informação utiliza esses conceitos para nomear fatos (BITTNER, 2001; FRANK, 2001).

Os conceitos definidos por fatos institucionais estão associados às possíveis mudanças nas propriedades das entidades que representam a realidade social, como as mudanças incrementais.

2.2 Mudança Incremental

O conceito de *mudança* é apoiado pela distinção entre *mudança incremental* e *mudança contínua*. Em escala microscópica, todas as entidades espaciais estão sofrendo mudança perene. Em escala macroscópica, é relevante uma distinção entre duas situações conceituais. Na primeira, entidades cujas propriedades podem ser consideradas estáveis durante certo tempo, e então mudam instantaneamente (como no caso onde um lote, cujo proprietário muda no instante de seu contrato de venda). Na segunda, entidades cujas propriedades estão mudando constantemente e das quais as representações capturam só um instante temporal (como no caso da temperatura em um quarto ou da erosão do solo de um lote). É considerado que uma entidade é *estável entre situações de mudança incremental* na primeira situação; no caso posterior, a entidade está *sujeita a mudança contínua* (WORBOYS, 2005).

Essas mudanças podem ser modeladas, conforme as ontologias de existência de objetos, como objetos *continuant* ou *ocurrents*. Essas são as ontologias de SPAN (intervalo) e SNAP (instante) (GRENON e SMITH, 2003). Nessas ontologias, os objetos podem ser classificados respectivamente como *continuants* e *ocurrents*. Objetos *continuant* são capazes de existir por um longo tempo, como um lote, um planeta ou um animal. Eles são considerados objetos SPAN, pois existem por um intervalo significativo de tempo. Por outro lado, objetos *ocurrent* acontecem em um determinado tempo e têm curta duração como, por exemplo, um *evento* da picada de um mosquito, uma *ação* de divisão de lotes e um *processo* de deslizamento de terra. Esses são objetos considerados SNAP, ou seja, instantâneos (WORBOYS, 2005). Como exemplos de mudanças que são modeladas como um incremento (SNAP) tem-se a atividade de desapropriação de um lote que o transforma em uma área pública, como também as mudanças no estado jurídico de uma área verde que a transformam em um parque nacional. Por outro lado, o crescimento da sua vegetação é modelado como uma mudança contínua (SPAN). Esse exemplo da área verde também mostra que uma mesma entidade pode ser modelada como parte de um sistema de ações humanas ou como parte de um sistema de processos naturais.

Mudança incremental, geralmente, está associada à ação humana. Ontologias associadas às ações humanas que promovem as mudanças consistem, conforme Searle (1995), “em um componente mental e um componente físico”. A demarcação entre mudanças promovidas pela ação humana e por processos naturais é fundamental para construir ontologias de mudança. Ao modelar a realidade social, os seus fatores causativos encarnam uma intenção associada a um resultado imediato antecipado (como transformar determinada área verde em uma área de preservação ambiental de um parque nacional, ou realizar a divisão de lotes). Processos naturais operam de acordo com leis físicas e, em muitos casos, não podem ser associados a uma intenção previamente consciente (como o crescimento de uma vegetação ou a erosão do solo de um lote). A distinção entre ações humanas e processos naturais depende das granularidades de espaço e tempo que são adotadas no modelo.

O modelo computacional de ações teve origem em pesquisa de Inteligência Artificial (AMAREL, 1968; MCCARTHY e HAYES, 1969; AGRE e CHAPMAN, 1989) na qual foram concebidas ações como instrumentos para a realização de planos promovidas por agentes. Ações eram conceitualizadas como funções para tradução entre estados do mundo, desde que certas restrições fossem atendidas. Por exemplo, a ação de vender uma casa requer que o agente envolvido esteja legalmente habilitado para essa ação (a casa poderia ser hipotecada e assim sua venda estaria bloqueada). Pesquisa extensa na formalização de planos em ações mostrou que, em geral, a especificação formal de ações requer que todas as restrições associadas sejam capturadas explicitamente; um problema descrito como *frame problem* (MCCARTHY e HAYES, 1969). Considerando que um *frame problem* pode ser tão grande como a noção de alcançar um senso comum (LIFSCHITZ, 1997), fica necessário limitar o modelo de ações a contextos restritos para derivar modelos computacionais. Kuhn (2001) considera que “uma ação é um conjunto de eventos que apóiam uma atividade.”

Mudança incremental acontece frequentemente como um processo complexo, envolvendo várias atividades ou tarefas individuais diferentes, que afetam vários objetos geográficos, durante um período de tempo. Para melhor entender esses processos, eles

são divididos, normalmente, em várias atividades separadas relacionadas a um plano de ação de um projeto.

2.3 Atividades de projetos

Um projeto é “um empreendimento temporário, levado a efeito para criar um produto ou serviço único” (JACK *et al.*, 2005). Atividade é uma determinada tarefa ou um conjunto de tarefas exigidas pelo projeto que necessitam utilizar recursos e tempo para serem concluídas (PRADO, 1988). No contexto de sistemas de informação, conforme Kuhn (2001), “uma tarefa é um procedimento dirigido por meta de um usuário no curso de uma atividade mais ampla dirigida por motivo”. E, normalmente, existem documentos que descrevem como uma tarefa deve ser realizada e como as mudanças devem ser promovidas nas entidades. Porém, esses documentos apresentam muita ambigüidade semântica e geralmente é muito difícil à compreensão de como as mudanças são realmente executadas (PEERBOOCUS *et al.*, 2003) Para gerência de projetos, geralmente, adota-se o termo atividade ou tarefa para descrever o trabalho do projeto (HELDMAN, 2005).

Uma abordagem básica para gerenciar um plano de ação é estabelecer uma rede de dependência de atividades e classificar graficamente os eventos de forma que possam refletir as relações entre atividades dentro de um projeto. Foram desenvolvidas técnicas de rede para gerência de projetos, como o PERT (*Program Evaluation and Review Technique*), CPM (*Critical Path Method*) e PERT/CPM (uma junção das duas técnicas). Os termos PERT, COM ou PERT/COM são usados, atualmente, como designação da representação de um projeto por redes, independentemente de qual tipo de rede se usa (NAIK, 1984; MODER, PHILLIPS, 1983). Todas essas redes fundamentam na decomposição do projeto em atividades, constituindo uma poderosa ferramenta para o planejamento, monitoramento e controle desse mesmo projeto. A rede permite estabelecer um cronograma com a data prevista de conclusão; ilustrar a interdependência entre as atividades; identificar atividades consideradas críticas que, caso sofram atraso, comprometerão o tempo previsto; identificar também, as que podem

ser adiadas; estabelecer os recursos necessários e a ocasião em que estes devem estar disponíveis para o desenvolvimento de uma tarefa (PRADO, 1998).

Esse mecanismo de gestão de redes provê uma relação de contexto entre atividades, que correspondem a fragmentos de um plano mais complexo, podendo existir tantos níveis superiores, quantos forem necessários para minimizar essa complexidade. As relações de dependências entre as atividades são governadas por um relacionamento lógico entre elas. Um *evento* é um *marco* ou “*milestone*” significante do projeto. Ele é o resultado decorrente da conclusão de uma ou mais atividades e representa a situação em que todas as atividades que chegam a ele estão concluídas e todas as atividades que dele partem podem ser iniciadas. Trata-se de algo que pode ser identificado e que ocorre em determinada ocasião ou instante de tempo. Esses eventos não necessitam de recursos ou custo (JACK *et al.*, 2005, PRADO, 1998).

2.4 Conclusão

A adequada compreensão da realidade social possibilita uma melhor construção de sistemas de informação. Para isso os conceitos envolvidos em um universo de discurso têm que ser elaborados e discutidos pelos especialistas do domínio de aplicação, como no caso do domínio de aplicação do cadastro urbano de um município, estado ou país. Os conceitos de cadastro urbano estão associados à semântica de mudança incremental. Mudança incremental depende da cognição humana e corresponde a objetos denominados *occurrents*, pois possui existência por um período curto período de tempo, diferentemente dos processos naturais que independem dessa cognição.

No entanto, nos sistemas atuais não são explicitadas as mudanças promovidas em cada tipo de objeto através das atividades realizadas pelos agentes que promovem tais mudanças. Para representar a realidade social em um SIG, os estudos da semântica de mudanças indicam a necessidade de ontologias de mudanças que incluam espaço, tempo e ações. Essas ontologias determinam como as atividades devem promover essas modificações nos objetos espaciais. Também, destaca a importância de produzir a documentação da mudança através dos conceitos adotados e atividades realizadas com a descrição das ações que promovem as modificações nos objetos. As ontologias de

espaço e tempo são exploradas no Capítulo 3, destacando as mudanças de vida e evolução dos objetos espaciais através de um conjunto de operações na sua identidade. Com base nessas operações e nos conceitos de mudança incremental, o Capítulo 4 apresenta o modelo de mudança incremental que registra as informações necessárias para a descrição da história de mudança nos objetos espaciais através das atividades executadas.

3 MODELOS ESPAÇO-TEMPORAIS

Este Capítulo apresenta estudos recentes de modelos espaço-temporais, correspondentes às iniciativas para modelar o comportamento de objetos em sua trajetória espaço-temporal, visando sua representação em um sistema de informação. São apresentadas as propostas de operações que promovem as mudanças na vida e evolução dos objetos espaciais. Buscou-se enfatizar a semântica da representação do espaço e do tempo e a construção de modelos apropriados ao tratamento de informações espaço-temporais.

A visão do espaço (do grego *choros*) e do tempo (*chronos*) é uma experiência subjetiva do ser humano. O espaço e o tempo se misturam ao se descrever uma realidade (KAVOURAS, 2001). Eles são fortemente interconectados, pois a maioria das informações referenciadas para o espaço é, também, para o tempo (AL-TAHA e BARRERA, 1994; KAVOURAS, 2001; FRANK e WINTER, 1997). O espaço, neste sentido, refer-se a uma localização física e o tempo à granularidade temporal relacionada a um acontecimento. Modelos espaço-temporais reúnem dois aspectos distintos: a escolha de conceitos adequados de espaço e de tempo e a construção de representações computacionais apropriadas correspondentes a esses conceitos.

Ainda não existe um consenso sobre as técnicas de modelagem de dados espaço-temporais, ou mesmo sobre extensões das técnicas de modelagem de dados geográficos, atualmente existentes, para refletir as necessidades de aplicações que envolvam, simultaneamente, tempo e espaço. A seguir, são apresentados conceitos e alternativas dessas representações específicas.

3.1 Representação do tempo

Uma representação temporal considera os aspectos de ordem, variação e granularidade (EDELWEISS e OLIVEIRA, 1994). Quanto à ordem, o tempo pode ser consecutivo e linearmente ordenado, ramificado ou circular (WORBOYS e DUCKHAN, 2004). O tempo ramificado implica na possibilidade de existência de diferentes histórias futuras ou passadas. Eventos recorrentes são representados pelo tempo circular. Neste caso, a

periodicidade de sua ocorrência faz com que sempre se volte à mesma referência de tempo. A maioria das representações da realidade utiliza um passado linear e um futuro ramificado.

Um *eixo temporal* é uma seqüência de pontos consecutivos com tempo de *variação discreto, linear e finito*. A variação do tempo discreto é classificada como *ponto-a-ponto, escada e função* (RENOLLEN, 1997). A variação ponto-a-ponto considera valores válidos do tempo somente nos pontos temporais definidos. Na variação escada, o valor válido do tempo ocorre desde o momento de sua definição até o momento em que outro valor é definido. A variação do tempo discreto pode ser determinada por uma função de interpolação para determinar valores em pontos onde não se tem valor, configurando a variação por função. Esses tipos de variações são mostrados na Figura 3.1.

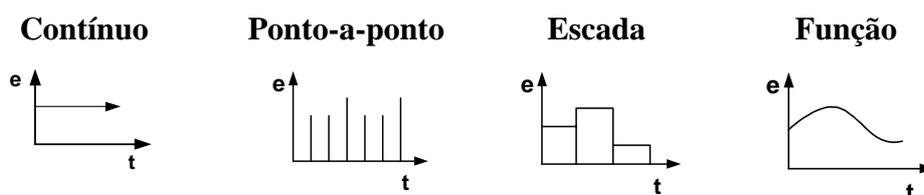


Figura 3.1 – Variação do tempo contínuo e discreto
Fonte: Edelweiss e Oliveira, 1994.

Quanto à variação, o tempo pode ser *contínuo* ou *discreto*. Entende-se, em geral, que o tempo é contínuo por natureza. Para sua representação computacional, é necessário utilizar uma representação discreta do tempo, na qual a variação temporal corresponde a uma linha de tempo, composta por uma seqüência de *chronons* consecutivos e com idêntica duração. Um *chronon* é um intervalo temporal que não pode ser decomposto. Ele é considerado a menor unidade de duração do tempo de um sistema. A granularidade temporal é um parâmetro que corresponde à duração de um *chronon*. A duração de tempo pode ser fixa, como uma hora, ou variável, como um mês. Podem ser consideradas, simultaneamente, diferentes granularidades (ano, mês, dia e minuto), para possibilitar uma melhor representação da realidade. Pesquisas de opinião, por exemplo, podem ser realizadas anualmente ou mensalmente (EDELWEISS e OLIVEIRA, 1994), porém espera-se obter uma representação mais fiel a esse fenômeno real com a granularidade mensal.

Os elementos primitivos de representação da granularidade do tempo são *instante*, *intervalo* e *elemento temporal*. A granularidade depende da variação do tempo considerada. Para o tempo continuamente variável, um *instante* é um ponto no tempo cuja duração é infinitesimal, sendo que entre dois pontos no tempo sempre existirá outro ponto. Se a variação de tempo for discreta, um instante é representado por um *chronon* no eixo temporal. Um *intervalo* é um subconjunto de pontos do eixo temporal equivalente ao tempo decorrido entre dois pontos. Considerando o tempo discreto, o intervalo é representado por um conjunto finito de *chronons* consecutivos; no caso de tempo contínuo, existem infinitos instantes de tempo em um intervalo. Um *elemento temporal* é a união finita de intervalos de tempo, produzindo um novo elemento temporal para as operações de conjunto de união, interseção e complemento (LANGRAN, 1993). As relações entre intervalos de tempo implicam na definição de um operador de precedência, associado a um conjunto de operadores típicos da teoria de conjuntos, tais como *união*, *interseção*, *inclusão* e *igualdade*. Essas relações são apresentadas em Allen (1983; 1984) e das quais tem-se *before* (antes de), *meets* (toca), *during* (durante), *finishes* (finaliza junto com), *equal* (igual a), *overlaps* (sobrepõe) e *starts* (inicializa junto com).

O tempo pode ainda ser *absoluto* ou *relativo*. O tempo absoluto está associado a um fato com granularidade definida. O tempo é considerado relativo quando se refere à validade de outro fato. A definição do tempo pode também ser *explícita* ou *implícita*. Ela é explicitada através de um rótulo temporal (*timestamp*) associado a cada valor de atributo de um objeto. A definição de tempo é necessária para utilização de uma linguagem de lógica temporal implícita, como no caso do tempo relativo (EDELWEISS e OLIVEIRA, 1994). O tempo absoluto em banco de dados pode ser considerado em duas dimensões, apresentadas na próxima Seção.

3.1.1 Dimensão temporal

A dimensão temporal determina as representações de tempo num banco de dados. Essas dimensões auxiliam na definição da composição histórica do geo-objeto. Uma análise de dados espaço-temporais requer uma distinção entre o tempo de validade e o tempo

de transação. Tempo de validade é o momento em que o evento ocorreu, conforme a representação adotada e o tempo de transação é o momento em que essa ocorrência foi registrada no banco de dados, que indica a partir de quando a informação correspondente ao evento se tornou disponível para o usuário (WORBOYS, 1998; BURROUGH, 1998; SNODGRASS, 1992, 1990). Por motivos diferentes, é importante, por exemplo, saber quando dados que indicam a possibilidade de um desastre foram inseridos no banco de dados e quando eles foram coletados ou identificados em campo. As informações temporais, nesse caso, permitem analisar se dados que indicam um possível desastre foram identificados e/ou registrados no banco de dados em tempo de apoiar o processo de tomada de decisão. Também, quando dados cadastrais são atualizados, pois, se estes transformam, por exemplo, em informações disponíveis em documentos legais ou formais, é necessário saber desde quando esses dados estavam registrados no banco de dados (FRANK *et al.*, 2001).

O tempo pode ser associado a cada valor no banco de dados. O tempo de validade pode ser representado em um banco de dados temporal por um ponto no tempo e com variação por escada ou intervalo de tempo. O tempo de transação é representado por um *chronon* único. Um exemplo para ilustrar o significado dessas dimensões baseado na realidade social do cadastro urbano do município de Belo Horizonte é apresentado a seguir. Esse exemplo refere-se a um projeto de implantação de uma linha de metrô de superfície, hoje existente, sendo que as datas apresentadas são fictícias. Foi registrado no banco de dados do cadastro urbano, em 2/5/1996, que a previsão de implantação da linha de metrô seria em 20/3/1998. Depois, em 1/10/1998, registrou-se que a linha de metrô foi implantada em 3/9/1998. Mas, em 7/12/1998 descobriu-se que o dado de implantação estava incorreto, pois a implantação tinha ocorrido em 3/5/1998 (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Tempo de validade e tempo de transação

| Tempo do BD (t_D) | Tempo de Evento (t_E) | Significado |
|---------------------------------------|---|----------------------|
| 2/5/1996 | 20/3/1998 | Implantação prevista |
| 1/10/1998 | 3/9/1998 | Implantação |
| 7/12/1998 | 3/5/1998 | Correção Implantação |

Para o planejamento urbano é importante saber qual era o tempo previsto para implantação da linha de metrô e quando ele foi realmente implantado (tempo de evento). E, além disso, é extremamente relevante identificar o período em que a informação de implantação do projeto esteve errada no banco de dados (1/10/1998 a 7/12/1998), tempo de transação pois, durante esse período, a informação disponível para apoiar a tomada de decisão estava incorreta. Essas dimensões possibilitam essa distinção, porém ainda é objeto de pesquisa a possibilidade da alteração do tempo de transação para corrigir a história passada.

A dimensão temporal está associada a um objeto que possui representação espacial em modelos espaço-temporais. Os conceitos relacionados a representação espacial são apresentados na Seção 3.2.

3.2 Representação do espaço

O espaço é denominado *espaço geográfico* quando possui alguma referência com a localização na Terra. O espaço geográfico é o espaço computacionalmente representado (CÂMARA *et al.*, 2005). Ele pode ser considerado *relativo* ou *absoluto*. O espaço relativo representa o posicionamento relativo da localização entre os objetos, o constituído pelas relações espaciais. O espaço absoluto ou de lugares ou cartesiano corresponde a uma estrutura para localizar pontos, trajetórias e objetos (CASTELLS, 1999; COUCLELIS, 1997, 1985). Adota-se o espaço absoluto para consultas espaciais entre tipos de entidades, como “*Quais lotes serão afetados pela expansão da rua Y?*” ou “*Quais objetos interceptam a área de expansão da rua X ?*”. O espaço relativo é adequado para relações de conectividade, entidades como conexões de água e esgoto, de linhas de transmissão, de comunicação e viária, para consultas como “*Qual a população média dos bairros adjacentes ao bairro Y?*” ou “*Qual o trajeto mais curto da Unidade de Saúde Z para o Hospital W?*”.

As entidades do espaço absoluto podem ser representadas através de dois modelos formais, *geo-campo* e *geo-objeto*. Uma distinção significativa desses modelos refere-se à fronteira dessas entidades. Se a fronteira é o foco e for necessária para a distinção do objeto então o modelo adotado é de *geo-objeto*. O modelo de *geo-campo*, geralmente, é

utilizado quando é essencial a topografia. Geo-objeto considera o espaço geográfico como uma coleção de entidades distintas e identificáveis, diferentemente de geo-campo em que o espaço geográfico é considerado uma superfície contínua sobre o qual variam fenômenos (CAMARA, 2005; FRANK, 2005) Os geo-objetos podem ser representados em bancos de dados através de estruturas de dados *vetoriais* e *matriciais*. As estruturas vetoriais individualizam uma entidade através das estruturas básicas de *ponto*, *linha* ou *polígono* (GOODCHILD, 2005).

Polígonos identificam subdivisões do espaço, contínuas ou isoladas, como as subdivisões administrativas, lotes ou bairros. Na maioria das aplicações de SIG, geralmente, aplicam-se operadores topológicos quando é necessário testar a existência ou não de interseção entre dois polígonos. Como, por exemplo, nos casos de consistência entre tipos de objetos, quando esses não podem se interceptar, como no caso de lote com rua ou quando é necessário saber a geometria resultante da diferença entre dois geo-objetos. Os operadores topológicos de *união*, *interseção* e *diferença* são fundamentais para realizar operações sobre geo-objetos (ENGENHOFER *et al.*, 1994; ENGENHOFER e FRANZOSA 1991).

Como visto nesta Seção, geo-objetos são identificáveis; neste caso a sua identidade é relevante, pois é através dela que se pode obter a história de vida e evolução desses objetos, como apresentado na próxima Seção.

3.3 Identidade, vida e evolução de geo-objetos

3.3.1 Identidade de geo-objetos

A *identidade* é uma característica imutável de um geo-objeto. Ela é fundamental para a representação espaço-temporal, pois possibilita a distinção entre geo-objetos independentemente de sua estrutura, valores e atributos, incluindo aí atributos chave. Por exemplo, a identidade de uma pessoa não muda se o número de sua carteira de motorista for alterado. Note a diferença entre o conceito de identidade e o de identificador, ou de chave primária, usual em bancos de dados, que é empregado no sentido de “atributo cujo valor não se repete”. Sendo que o valor de qualquer atributo

pode mudar, dentro das regras semânticas que levaram à sua definição durante a modelagem; por outro lado, a mudança da identidade de um objeto só ocorre em situações particulares, em que se pode afirmar que a natureza do objeto mudou o suficiente para que seu novo estado seja considerado como pertencente a um objeto inteiramente diferente. Por exemplo, quando um lote urbano é dividido em dois, uma das partes pode reter a identidade do lote original (no caso, apenas um dos seus atributos mudou: a forma geométrica). A outra parte constitui um lote novo e que, portanto recebe uma nova identidade (PBH, 2003).

A existência de um geo-objeto está associada à manutenção da sua identidade ao longo do tempo. As premissas das propostas para se implementar mudanças baseadas em identidade de geo-objetos são os critérios de imutabilidade, reusabilidade e singularidade da identidade. O registro das mudanças que ocorrem em geo-objetos está fundamentado nos conceitos de orientação por objetos e de bancos de dados temporais. Essas propostas se baseiam na ordem temporal de estados de identidade e o vínculo temporal com os predecessores ou com o geo-objeto original (AL-TAHA e BARRERA, 1994).

3.3.2 Vida e evolução de geo-objetos

Segundo FRANK *et al.* (2001) as mudanças de geo-objetos podem ser de *vida*, *genealogia* e *movimento*.

A noção de *vida* corresponde ao conjunto das mudanças de características de um geo-objeto durante sua existência, caracterizada pela sua identidade. Um lote, por exemplo, pode ter alterados o seu proprietário ou sua zona de uso do solo, sem que se torne um novo lote. Essas mudanças, portanto, fazem parte do registro de eventos que ocorreram ao longo da vida do lote.

A *genealogia* corresponde a um *link* temporal para o gerenciamento de sucessivas versões temporais de um objeto, como no caso em que se usa um rótulo temporal (*timestamp*). É similar a uma árvore genealógica familiar, no sentido em que um geo-objeto pode dar origem a outro, permanecendo ligado a ele como seu predecessor.

O *movimento* contempla mudanças de expansão ou contração, deformação e localização, como as que ocorrem na ampliação ou redução de subdivisões administrativas, no deslocamento simultâneo ao derretimento de um *iceberg*, ou no caso de objetos que se deslocam constantemente, como os veículos.

Cheylan (2001) propôs quatro classificações para as mudanças espaciais elementares. A primeira classificação é a dos geo-objetos *permanentes*. Eles recebem esse nome porque permanecem inalteradas a sua forma e localização e podem ser alteradas as suas características não-espaciais. A segunda classificação é a dos *geo-objetos variáveis*. Seu tamanho e topologia podem variar sem gerar novos geo-objetos. Neste caso, são mantidas a forma e a identidade dos geo-objetos e são geradas múltiplas versões da mesma unidade espacial no tempo. A terceira classificação é a dos *geo-objetos modificáveis*. Sua modificação ocorre através da recomposição de um determinado espaço, adotando operações de partição dinâmica (divisão e junção). Os objetos podem mudar a forma, topologia e gerar novos objetos. Isso ocorre com os lotes urbanos e seus limites dentro de uma mesma quadra (Figura 3.2).

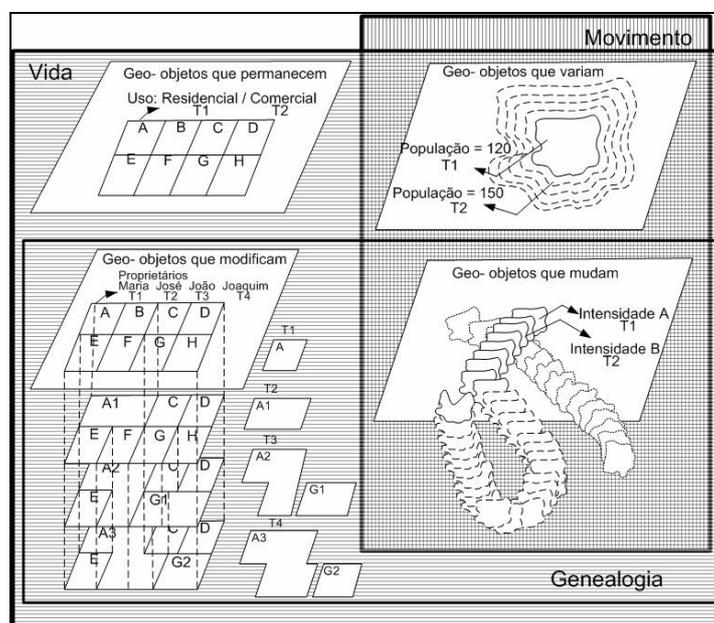


Figura 3.2 – Situações de mudanças espaciais no tempo
 Fonte: adaptada de Cheylan (2001)

A quarta classificação é a dos geo-objetos que mudam ou dinâmicos. Eles admitem mudanças na forma, topologia, atributo, localização e podem gerar novos objetos.

O conceito de vida é válido para todas as situações de mudanças, mas suficiente somente para o tipo de mudança de geo-objetos permanentes. A noção de movimento afeta os geo-objetos que variam e mudam, mas é suficiente somente para os que variam. A noção genealógica afeta os geo-objetos que modificam e mudam, mas é suficiente somente para os que modificam (CHEYLAN, 2001).

Algumas regras de mudanças durante a vida ou existência de um geo-objeto são determinadas pelas operações que definem como ele adquire, muda ou perde a identidade ao longo do tempo (Figura 3.3). Essas operações são denominadas construtores temporais, e podem ocorrer em um geo-objeto ou entre geo-objetos diferentes (MEDAK, 1999).

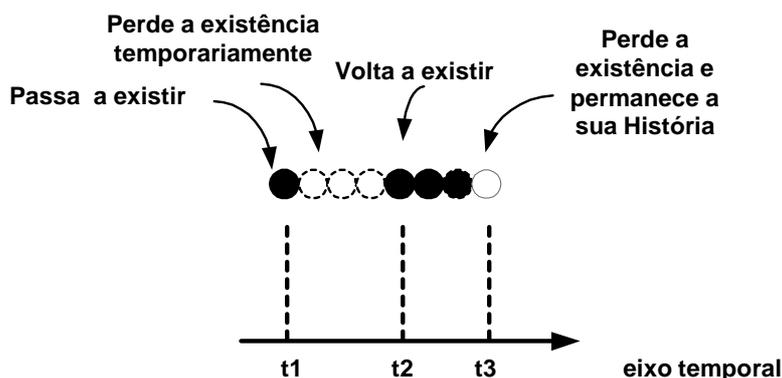


Figura 3.3 – Linha da vida (*Lifeline*)
 Fonte: adaptada de Medak (2001)

Geo-objetos associados a partições definidas por convenções humanas, como no caso de informações sobre a realidade de um sistema de cadastro urbano, demandam consultas complexas, do tipo “selecionar os lotes que foram criados pela junção de outros lotes e que perderam parte de sua área para formar vias.”. Por essa razão, alguns pesquisadores têm dedicado especial atenção à elaboração de construtores capazes de modelar e gerenciar relacionamentos temporais entre geo-objetos, considerando sua identidade. (AL-TAHA e BARRERA, 1994; HORNSBY e ENGENHOFER, 1997, 1998, 2000).

A evolução de geo-objetos somente pode ser recuperada pela identidade de um geo-objeto ou sua localização espacial. A identidade de um geo-objeto tem sido apresentada

como uma parte da semântica associada aos processos de mudanças espaço-temporais. Apresentamos, a seguir, as operações propostas, considerando a identidade de geo-objetos.

Pode-se recuperar toda a *evolução* histórica de um geo-objeto através de sua identidade, desde que haja uma conexão genealógica entre objetos. Alternativamente, podem-se determinar as mudanças ocorridas em um determinado espaço conhecendo-se apenas sua localização. É fundamental poder determinar, em qualquer situação, quais mudanças permitem que o geo-objeto permaneça o mesmo (i.e., mantenha a sua identidade apesar das modificações) e quais mudanças fazem com que o objeto evolua para outro(s), deixando de existir com aquela identidade.

3.3.3 Operações de mudança baseadas na identidade

Para demonstrar as possíveis mudanças de estado relativas à identidade de geo-objetos, Hornsby e Egenhofer (1997, 1998, 2000) desenvolveram uma linguagem visual pictórica, denominada CDL (*Change Description Language*). A CDL permite descrever cenários através da seqüência de transições da identidade de objetos ao longo do tempo. Trata-se de um modelo qualitativo, baseado na seqüência temporal dos eventos, e que possui extensões para representar relacionamentos espaciais, associações entre geo-objetos e propriedades de geo-objetos.

A Figura 3.4 apresenta algumas primitivas da CDL. Existem primitivas que indicam que um geo-objeto pode nunca ter existido, existe no tempo atual ou existiu em algum tempo anterior, mas não possui existência no instante atual. O geo-objeto pode possuir um vínculo temporal com a sua história ou não. A primitiva de *transferência de propriedade* corresponde à cópia de propriedades e à transição de estados em um mesmo geo-objeto ou entre geo-objetos diferentes. A transmissão de *emissão* corresponde à substituição de um geo-objeto por outro do mesmo tipo, mantendo-se as propriedades, e a transição de *separação* subentende um cenário de divisão da geometria.

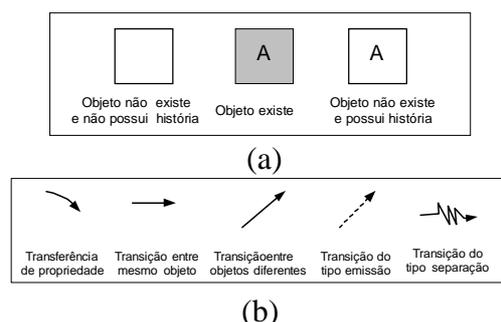


Figura 3.4 – a) Primitivas de estados da identidade de geo-objetos e b) Primitivas de tipos de transição

Fonte: adaptada de Hornsby e Egenhofer (1997, 2000)

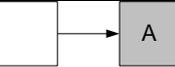
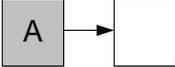
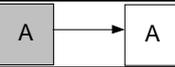
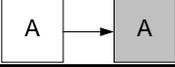
A CDL é usada aqui para facilitar o entendimento das semelhanças e diferenças existentes entre as diversas propostas de operações de mudança baseadas na identidade descritas na literatura (CLIFFORD e CROKER, 1988; CHU *et al.*, 1992; AL-TAHA e BARRERA, 1994; HORNSBY e EGENHOFER, 1997, 1998, 2000; MEDAK, 1999, 2001; AL-TAHA, 2001).

As propriedades de um geo-objeto podem ser transmitidas para outro geo-objeto já existente ou criado especificamente para recebê-las. No último caso, o geo-objeto origem é em geral destruído, porém mantido como predecessor do novo geo-objeto. Um geo-objeto pode dar origem a um novo geo-objeto ou ser substituído por outro objeto. São criados links temporais entre os geo-objetos origem e os seus sucessores.

As primeiras operações de identidade definidas foram *create* e *destroy*. A operação *create* cria o vínculo temporal (predecessores) com o(s) objeto(s) origem, sendo que somente um geo-objeto que nunca existiu pode não possuir predecessores. A operação *destroy* elimina o geo-objeto e a sua história.

Clifford e Croker (1988) acrescentaram as operações *kill* e *reincarnate*. A operação *kill* suspende a existência de um geo-objeto temporariamente, sem destruir a sua identidade, e a operação *reincarnate* “ressuscita” um geo-objeto suspenso. Essas operações são apresentadas na Tabela 3.2, com os nomes das operações por diferentes autores e a sua representação em CDL.

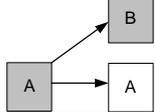
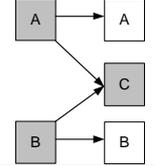
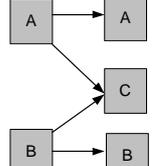
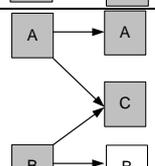
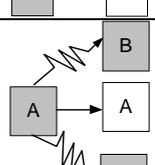
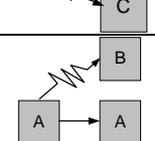
Tabela 3.2 – Operadores básicos de identidade de geo-objetos

| Al-taha e Barrera (1994) | Hornsby e Engenhofer (1997) | Medak (1999) | CDL (2000) |
|--------------------------|-----------------------------|----------------|---|
| <i>Create</i> | <i>create</i> | <i>create</i> |  |
| <i>destroy</i> | <i>destroy</i> | <i>remove</i> |  |
| <i>Kill</i> | <i>eliminate</i> | <i>destroy</i> |  |
| <i>reincarnate</i> | <i>reincarnate</i> | <i>resume</i> |  |

Chu *et al.* (1992) propuseram as operações *evolution*, *fission* e *fusion*. A operação *evolution* ou *evolve* substitui a identidade atual por uma nova identidade; a *fission* cria novas identidades a partir de um geo-objeto existente com o sentido de subdivisão; a *fusion* cria uma nova identidade a partir de outras, com o sentido de fusão. Essas operações destróem todos os geo-objetos origem (Tabela 3.3).

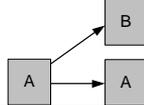
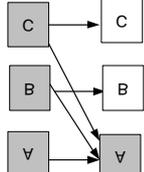
Hornsby e Engenhofer (1997, 1998) incluíram as operações *generate*, *mix* e *splinter* (Tabela 3.3). As operações *generate* e *mix* possuem a semântica da operação *fusion*, porém na operação *generate* todos os geo-objetos origem são preservados. Na operação *mix*, nem todos são destruídos. A operação *splinter* possui a mesma semântica da *fission*, porém mantém a existência do geo-objeto origem.

Tabela 3.3 – Operadores de identidade de geo-objetos

| Al-taha e Barrera (1994) | Hornsby e Engenhofer (1997) | Medak (1999) | CDL (2000) |
|--------------------------|-----------------------------|----------------|---|
| <i>evolve</i> | <i>metamorphose</i> | <i>evolve</i> |  |
| <i>fuse</i> | <i>merge</i> | <i>fusion</i> |  |
| | <i>generate</i> | |  |
| | <i>mix</i> | |  |
| <i>fission</i> | <i>divide</i> | <i>fission</i> |  |
| | <i>splinter</i> | |  |

Al-Taha e Barrera (1994) acrescentaram ainda as operações *spawn* e *identify* (Tabela 3.4). A operação *spawn* gera novas identidades a partir de um geo-objeto existente, e só difere da operação *evolution* porque mantém o geo-objeto origem. A operação *identify* funde um conjunto de geo-objetos em um dos geo-objetos do conjunto, destruindo os demais (AL-TAHA, 2001).

Tabela 3.4 – Operadores de identidade *spawn* e *identify*

| Al-taha e Barrera (1994) | Hornsby e Engenhofer (1997) | Medak (1999) | CDL (2000) |
|--------------------------|-----------------------------|--------------|---|
| <i>spawn</i> | <i>spawn</i> | |  |
| <i>identify</i> | | |  |

Medak (1999) formalizou uma proposta de quatorze operadores de identidade que contemplam as propostas de Hornsby e Engenhofer (1997, 1998) e de Al-Taha e Barrera (1994), acrescentando a operação *restructure*. A operação *restructure* (Tabela 3.1) foi criada para processos de reestruturação que envolvem vários objetos. São criados novos objetos através de um processo de redivisão interna de um espaço. Essa operação não mantém a ligação de cada objeto origem com o seu sucessor. Um exemplo dessa operação, Figura 3.5, é uma redivisão de lotes em uma quadra.

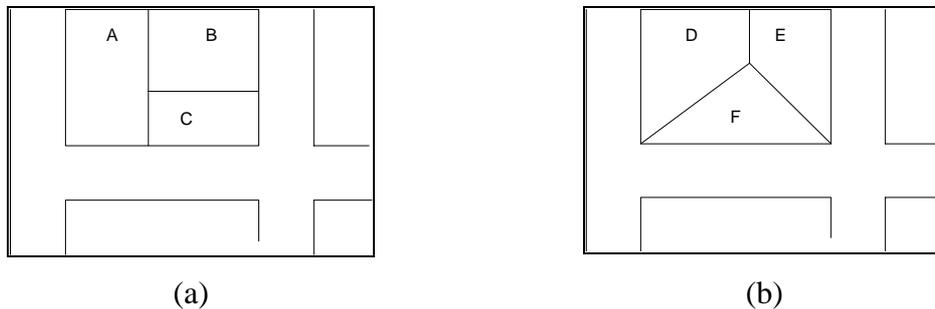


Figura 3.5 – Unificação dos lotes A, B e C originais (a) através da operação *restructure* gerando os lotes D, F e E.

Medak (1999) concluiu que as operações básicas para a mudança de um simples geo-objeto são as operações relacionadas à sua existência (Tabela 3.2): *create*, *resume*, *suspend* e *destroy*, *pois*, com essas operações podem-se obter as outras operações propostas.

Diante da diversidade de possibilidades de composição de operações de mudança muitas consultas demandam recuperações históricas complexas. A seleção pode ser feita sobre dados, espaço, valores temporais ou ambos. O grande desafio dos pesquisadores na área de recuperação de informação espaço-temporal é explorar a consistência e

completeza das propostas existentes e buscar soluções em relação à integridade espaço-temporal, consultas de multi-versões ou de versões históricas longas e complexas (CHEYLAN, 2001).

Para se responder as questões espaço-temporais de mudanças do cadastro urbano, Peerbocus *et al.* (2003, 2004), propõem um armazenamento seletivo de documentos padrões, considerando-se diferentes visões. Eles usam um banco de dados geográfico estendido com um mecanismo de administração de versões para três níveis de documentação: *What*, *When* e *Where*. Cada nível requer armazenamento de documentação distinta e critérios de administração para minimizar as redundâncias. Neste vigamento, além de executar questões de *What*, *When* e *Where* típicas na evolução de fenômenos geográficos, usuários podem também executar questões que correspondem a *Why*, *How* e *Who*. Cada uma destas questões é disposta em versões de documentos de mudanças distintos. Pois, segundo Peerbocus *et al.*(2004), assim essas questões podem ser respondidas.

As grandes mudanças envolvem um grande número de objetos e afetam quase todo o banco de dados. Essas mudanças são menos freqüentes e muitas vezes são mais fáceis de serem armazenadas, gerando-se uma nova versão do banco de dados. Porém, as pequenas mudanças são promovidas pelos usuários através de uma interface de sistema de informação e afetam somente um número pequeno de objetos, mas ocorrem em todos os tipos de documentos de mudança existentes.

3.4 Conclusão

As propostas de operações baseadas na identidade de geo-objetos evoluíram muito, permitindo que (a) um geo-objeto seja suspenso para ser recuperado no futuro, no sentido de retomar a existência do geo-objeto; (b) existam vínculos temporais entre identidades de geo-objetos para composição da história de cada geo-objeto; (c) as operações propostas sejam obtidas através da composição de um conjunto de operações básicas. No entanto, essas propostas, mesmo tendo sido desenvolvidas considerando objetos espaciais, não consideram a semântica da operação conforme um domínio de aplicação, e seus efeitos sobre as propriedades espaciais e não espaciais dos objetos e,

os seus relacionamentos. Também, permanece complexa a definição da mudança nos geo-objetos diante de tanta diversidade de operações primitivas dispostas em um mesmo nível de complexidade, embora estejam classificadas em operações que afetam um único objeto e as que afetam vários objetos.

A documentação para a descrição das mudanças realizadas nos objetos é de extrema relevância para a descrição da vida e evolução dos objetos. Um modelo espaço-temporal deve responder às questões *What, When, Where, Why, How* e *Who* relacionadas às mudanças. A proposta de criação de documentos associada a um sistema de multiversões é capaz de prover essas respostas. Mas a história de mudanças precisa ser construída considerando a semântica da ação que promove a mudança principalmente nas mudanças incrementais em que é possível estabelecer previamente como elas devem ser promovidas. Buscando executar, registrar e descrever as mudanças nos geo-objetos mais próxima da semântica da realidade representada, no Capítulo 4 é apresentada a proposta do modelo de mudança incremental desta tese, no Capítulo 5, a validação dessa proposta.

4 MODELO DE MUDANÇA INCREMENTAL

Este capítulo descreve o modelo proposto para a modelagem de uma mudança incremental em objetos espaciais. Essa proposta foi elaborada a partir de uma extensiva revisão das idéias apresentadas no referencial teórico dessa tese. Ela está centrada no conceito de mudanças em objetos espaciais da realidade social que estão vinculadas à ação humana, como no caso do cadastro urbano. Essas ações geralmente são pré-definidas em atividades que descrevem como esse procedimento deverá ser realizado nos geo-objetos.

Dessa forma, adotam-se algumas premissas para a modelagem de mudanças que contemplem a dinâmica dos geo-objetos. Seguindo Hornsby e Egenhofer (2000), mantém-se a identidade do objeto no tempo para localizar mudanças individuais. De Medak (1999) e Frank (2003), mostra-se a necessidade de formalizar as operações em geo-objetos. De Grenon e Smith (2003), considera-se a relevância de representar as forças que causam as mudanças, e já de Worboys (2004, 2005) demonstra-se a necessidade de modelar como as mudanças acontecem. Consideram-se também as visões de Kuhn (2001) e Raubal e Kuhn (2004), de derivar ontologias de domínio para descrever atividades humanas, e conseqüentemente facilitar a adaptação do uso de SIG conforme as tarefas que serão realizadas. O próprio conceito de Kuhn (2001) demonstra que as mudanças da realidade social são realizadas por atividades, e que estas devem ser documentadas. De Peerbocus *et al.* (2004) vem a noção de que o registro das modificações realizadas nos geo-objetos com as respostas às questões espaço-temporais deve ser a base para a documentação das mudanças. Conclui-se por Frank (1997), Kuhn (2001), Frank e Kuhn (1995) e Medak (1999), que uma linguagem funcional é clara, simples e adequada para formalizar a teoria de SIG.

É premissa do modelo proposto, a ocorrência de acordos conceituais que descrevem a semântica das mudanças, ou seja, a construção de ontologias, sendo que: (a) as ontologias de vida de objetos incluem conceitos que descrevem como os objetos adquirem ou perdem a sua identidade, e como as propriedades deles mudam; (b) as ontologias temporais contêm as operações e os conceitos necessários para obter-se a

existência do objeto no tempo, conforme a granularidade temporal definida; (c) as ontologias de domínio de aplicação descrevem a semântica dos geo-objetos e o conjunto de atividades que são os fatores causativos de mudanças, conforme uma realidade social. A descrição deve conter como os geo-objetos são transformados, com quais operações, regras, restrições e convenções além das informações relevantes para a descrição histórica dessas atividades.

Combinando estas perspectivas, em uma proposta coerente, define-se um modelo de mudança incremental que adota uma hierarquia de conceitos associados à composição de operações de mudanças. Esse modelo é orientado por uma metodologia, para consequente modelagem de mudança incremental. Ele registra as operações de mudança para possibilitar a recuperação da história das mudanças incrementais, como elas foram promovidas, e a elaboração de sua documentação. O termo *mudança* é adotado aqui com o significado de qualquer modificação nos geo-objetos, sendo assim, realizadas por operações conforme uma semântica pré-definida. Os termos *ações* e *operações* são usados indistintamente nesta tese.

Este Capítulo apresenta a estratégia para a definição de atividades, conceituadas aqui como operações de mudanças incrementais de alto nível, sendo portanto, complexas e com a semântica mais próxima da realidade representada. A hierarquia de níveis de operações é definida na Seção 4.1, seguida da metodologia para a modelagem de mudança incremental, e da definição de um conjunto de operações para cada nível dessa hierarquia. O Capítulo 5, finalmente, apresenta exemplos para o cadastro urbano com a finalidade de validar esta proposta de modelagem de mudança incremental.

4.1 Hierarquia de operações de mudança incremental

O modelo de mudança incremental proposto nesta tese se concentra em conceitos de mudanças, que modelam ações que podem afetar vários objetos individuais ao longo de um grande período de tempo, e que correspondem ao contexto social de mudanças pré-definidas. É habitual agrupa-las em um projeto com um motivo específico e subdividi-las em partes de um plano de ação, sendo que cada parte corresponde a uma atividade distinta, com uma meta determinada. Planos de ação, portanto, são compostos por um

conjunto de atividades que estão relacionadas entre si através de uma rede de precedências, como uma rede PERT. Como tal, esse plano é a base para o controle das atividades desenvolvidas durante um projeto que promove as modificações nos geo-objetos. O plano de ação de um projeto é definido pelo agente de mudança, e suas atividades ocorrem sob um comando de execução do usuário do SIG.

As atividades de um projeto são organizadas por uma hierarquia de operações. Nessa hierarquia proposta a seguir na Figura 4.1, tem-se em nível inferior as *operações básicas*, seguido de *operações atômicas*, e em nível mais alto o conjunto de *atividades*. A distinção destes níveis de operações é apresentada nas seções seguintes.

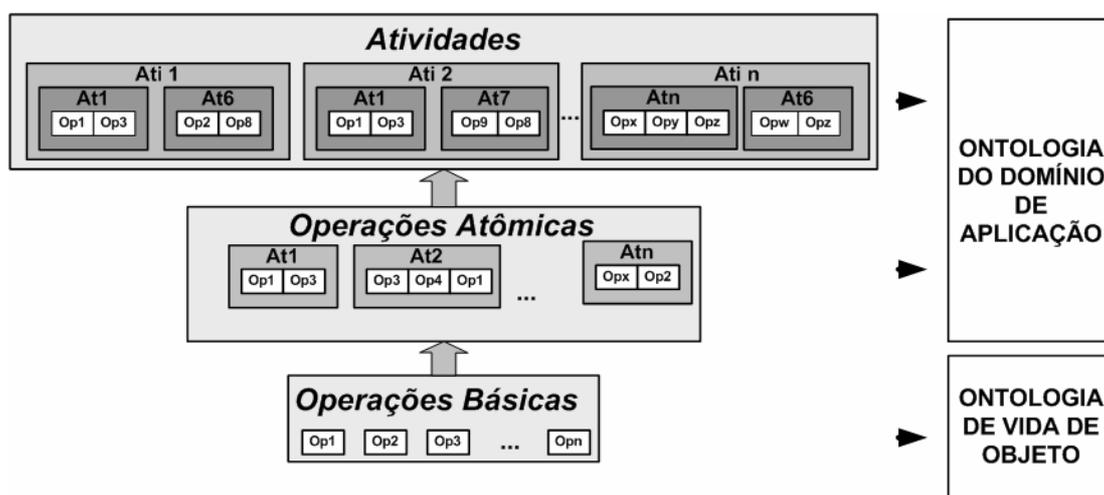


Figura 4.1 – Hierarquia de operações do modelo de mudança incremental

4.1.1 Operações básicas

Operações básicas são genéricas e independem do contexto semântico nos quais as mudanças acontecem, sendo que somente são empregadas em contextos mais amplos, de forma análoga às funções de matemática básica em um programa complexo. Dessa forma, uma operação básica não garante a integridade do geo-objeto de um domínio de aplicação, pois essa garantia somente ocorre na operação atômica. Elas estão relacionadas à ontologia de vida de um único geo-objeto, com o significado de alteração na sua existência e nas suas características espaciais (geometria), além das não espaciais (propriedades). Essas mudanças são básicas em um geo-objeto. Elas são validadas na

medida em que verifica-se a correspondência dos atributos com os tipos definidos, e confere-se se o objeto pode ou não ser destruído, constatando a sua existência. Uma operação básica é a mudança de menor granularidade envolvendo um único geo-objeto. Ela sempre será executada, caso sejam válidos os valores informados, e não houverem falhas.

4.1.2 Operações atômicas

Operações atômicas realizam mudanças simples nos geo-objetos conforme a ontologia de domínio de aplicação. Através de um conjunto elementar de operações atômicas é possível compor semânticas de mudanças complexas. Um conjunto organizado de operações atômicas define a semântica de uma atividade, a qual tem uma complexidade maior. A semântica de uma operação atômica é definida através de uma seqüência de operações básicas. Essa operação é uma unidade indivisível de processamento, como transações em um banco de dados, contendo operações básicas que devem ser completadas seqüencialmente. Se algo falhar, devem ser desfeitos completamente os efeitos de todas as operações básicas contidas na transação da mudança atômica, e o banco de dados deve ser colocado no seu estado anterior.

4.1.3 Atividades

Uma *atividade* define a lógica de transformação da mudança em um ou vários geo-objetos, através da execução de um conjunto de operações atômicas. A atividade tem a informação de cada operação atômica executada, mesmo essa sendo executada com sucesso ou não. Essa informação é usada para determinar uma variação condicional (em caso de insucesso) na seqüência de operações atômicas.

O conjunto de atividades definido deve ser suficiente para representar as mudanças complexas de um plano de ação de um projeto, adotando uma *estratégia bottom-up*, de operações de mudanças básicas para atividades, e fazendo assim, progressivamente, as definições mais específicas em termos do domínio de aplicação. A essência dessa estratégia é utilizar ontologias do domínio de aplicação de vida e evolução dos geo-

objetos da realidade social nos níveis superiores (operações atômicas e atividades), e de vida de objetos no nível inferior (operações básicas).

Essa estratégia visa padronizar a execução das mudanças das atividades e disseminar a semântica de atividades de um domínio de aplicação, que passam a ser utilizados para descrever como as atividades foram realizadas. Isso amplia o conhecimento e a assimilação desse conjunto de operações, que podem ser utilizadas como instrumento de comunicação.

4.2 Metodologia de modelagem de mudança incremental

As três etapas necessárias para a definição da semântica do domínio de aplicação de um plano de ação, conforme o modelo de mudança incremental proposto, são:

- 1) *Definição das operações*: é a construção da hierarquia de operações. Essa etapa requer o conhecimento: (a) do processo de mudança da realidade social representada, (b) da estratégia *bottom-up*, e (c) do modelo de mudança incremental. Com esse conhecimento é possível definir: o conjunto de operações atômicas através da análise das operações básicas, as atividades definidas através da análise de qual conjunto de operações atômicas realiza os efeitos desejados nos geo-objetos envolvidos, os geo-objetos do domínio e suas propriedades com as regras de validação, e finalmente a descrição da história necessária, associada ou não a documentos formais e legais.
- 2) *Definição do plano de ação*: é a elaboração de projetos com a rede de atividades planejadas para a execução das mudanças. Essa definição deve ser consistente, coerente, formal e aprovada; e deve ser usada para gerenciar a execução de um serviço ou projeto de mudança incremental. O plano de ação definido para um projeto também pode ser um padrão para projetos semelhantes.

- 3) *Execução de atividades*: é a execução de cada atividade de um projeto para realizar e registrar as ocorrências das operações, ou seja, cada operação atômica e básica, promovida pela atividade.

É fundamental para o registro das atividades, a definição de sua temporalidade, para possibilitar a adequada recuperação de sua história. A seção seguinte demonstra tal temporalidade.

4.3 A temporalidade do modelo de mudança incremental

Cada atividade da rede de um plano de ação tem uma duração de tempo que corresponde ao período esperado para sua conclusão, depois que foi iniciada. Considerando que cada atividade é um objeto “*occurrent*”, então o tempo associado à atividade, refere-se ao período em que esta é realizada no mundo real. A granularidade de tempo é ontologicamente dependente do domínio de aplicação. As operações atômicas e básicas são instantâneas, e o instante dessas operações corresponde ao tempo final do período de realização da atividade. A Figura 4.2 apresenta essa temporalidade, onde a atividade 1 é concluída no instante t_5 (evento 2), instante esse, de cada atômica (1, 2 e 3), associada à atividade 1. O instante t_5 e também o instante de cada operação básica associada à essas atômicas e corresponde a uma nova versão dos geo-objetos envolvidos.

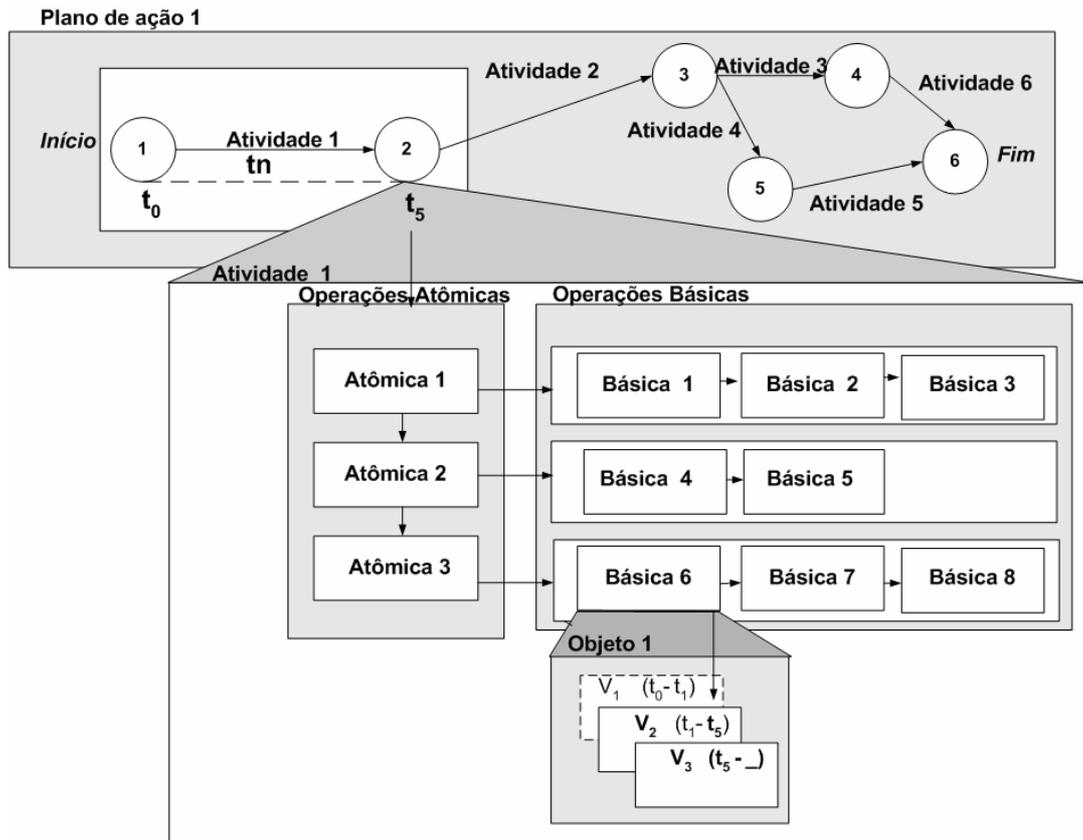


Figura 4.2 – Registro de mudanças incrementais

4.4 Operações propostas de mudança incremental

São apresentadas, nesta Seção, as operações básicas e atômicas, para descrever o procedimento definido para cada uma dessas operações. O pseudocódigo utilizado na demonstração dessas operações é próximo à linguagem funcional Haskell (HUDAK, 1989, 1998 e THOMPSON, 1999 e PEYTON JONES, 1998, 1999, 2002), a linguagem adotada na implementação dessa tese, para facilitar a sua compreensão. As atividades são apresentadas no Capítulo 5 com os exemplos de validação do modelo de mudança incremental proposto nessa tese. A fonte mono-espaçada é a adotada para qualquer parte de código (classes, tipos, estrutura de dados, funções, saídas e métodos). Inicialmente é descrita a definição de geo-objeto, algumas convenções adotadas no pseudocódigo e as operações propostas.

As funções de registro e validação de operações de mudança incremental são apresentadas na Tabela 4.1 para facilitar a compreensão do pseudocódigo.

Tabela 4.1 – Funções de registro e validação de operações de mudança.

| Método | Descrição |
|------------|---|
| register | Inclui no banco de dados uma operação e sua associação com a operação do nível superior que a executou. |
| unregister | Exclui no banco de dados uma operação e sua associação com a operação do nível superior que a executou. |
| validate | Valida as propriedades de um geo-objeto conforme as regras de consistência do tipo de geo-objeto. |

Um geo-objeto, *object*, é “*continuant*” e é alvo de mudanças incrementais. Ele é composto por: um identificador único, invariante durante a vida (*lifetime*) do geo-objeto (*objectId*); uma representação espacial (*geometry*); o tipo de objeto do universo de discurso (*objectType*); e os atributos (*attr₁, ..., attr_n*) que estão associados com o tipo do geo-objeto e são definidos conforme o domínio de aplicação.

```

object = {objectId, type, geometry}
type = {objectType, attr1, ..., attrn }

```

4.4.1 Operações básicas propostas

Uma ocorrência de operação básica sempre registra (*register*) a operação básica do modelo executada (*model*) e o objeto envolvido (*object*). A operação *assignGeometry* registra também a geometria (*geometry*), a *assignAttributes*, o tipo, os atributos e os seus valores (*objectType, attr₁, ..., attr_n*). Elas registram dessa forma, as alterações básicas realizadas nas propriedades de um geo-objeto. As operações básicas *createObject* e *destroyObject* registram a existência do objeto e são similares às operações de identidade propostas por Medak (1999).

```

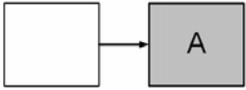
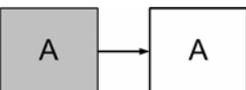
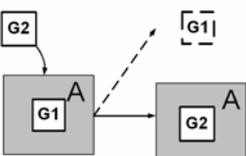
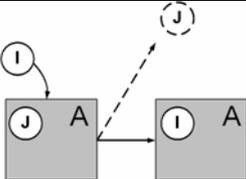
Basic = {model, object}
BasicModel =
  CreateObject |
  DestroyObject |
  AssignGeometry {geometry} |
  AssignAttributes {attributes}

```

As versões de um geo-objeto podem ser obtidas recuperando-se todas as suas operações básicas, o mesmo que, as modificações em suas propriedades durante a sua existência.

A Tabela 4.2 apresenta as operações básicas propostas.

Tabela 4.2 – Operações de mudanças básicas propostas.

| Operações de Mudança Básica | CDL | Descrição |
|-------------------------------|---|--|
| <code>createObject</code> |  | A operação <code>createObject</code> cria um novo objeto com id informado (<code>objectId</code>). Ela cria o objeto, se registra e não tem retorno. |
| <code>destroyObject</code> |  | A operação <code>destroyObject</code> destrói o objeto e se registra no banco de dados. Ela retorna o objeto destruído. |
| <code>assignGeometry</code> |  | A operação <code>assignGeometry</code> atualiza a geometria do objeto informado. Ela recebe a geometria e o objeto e retorna o objeto atualizado. |
| <code>assignAttributes</code> |  | A operação <code>assignAttributes</code> atribui valores a um ou mais atributos de um objeto. Neste nível o objeto não tem o seu tipo determinado. Esse tipo será atribuído por uma operação atômica. Ela recebe o objeto, os valores dos atributos e retorna o objeto atualizado. |

4.4.2 Operações atômicas propostas

Toda operação atômica faz o seu registro no banco de dados. Ela registra a operação do modelo executada (`model`), e têm registrado as operações básicas (`basics`) que chamou, sendo que, esse registro é realizado por cada operação básica.

`Atomic = {model, basics}`

As operações atômicas propostas são

`AtomicModel = Create | Destroy | Update | Join | Evolve | Splinter`

Cada operação atômica valida os geo-objetos resultantes conforme a sua semântica (de uma realidade social do domínio de aplicação) e retorna o “insucesso” ou “sucesso” da sua execução para a atividade que a executou. No caso de “insucesso” de uma operação atômica, esta “retira o seu registro” fazendo a sua exclusão no banco de dados além de todas as operações básicas por ela executada. Assim, o banco de dados será mantido no estado anterior à execução da operação atômica. Os geo-objetos envolvidos de uma operação atômica podem ser obtidos recuperando-se o objeto de cada operação básica chamada por ela.

A seguir, é detalhada cada operação atômica com uma explicação, o pseudocódigo e uma ilustração com três cenários relacionados à operação atômica, mostrando os geo-objetos antes, durante e depois de sua execução. Essa ilustração destaca as mudanças na identidade e geometria, sendo que “U” indica que é um tipo de geo-objeto do domínio de aplicação urbano.

4.4.2.1 Operação atômica `create`

A operação atômica `create` (Figura 4.3), cria um geo-objeto válido do domínio de aplicação. Ela recebe o identificador, o tipo de objeto, os valores dos atributos e a geometria do novo geo-objeto. As operações básicas chamadas para essa criação são `createObject`, `assignAttributes` e `assignGeometry`. O geo-objeto resultante desta operação é validado conforme as regras do domínio de aplicação e, caso seja válido, a operação retorna o geo-objeto, caso contrário, a operação desfaz o registro e não retorna nada.

```

create object =          -- Dado o objeto (object) com id do
                        -- objeto (objectId), tipo e valores
                        -- dos atributos (type) e a geometria
                        -- (geometry)

register                -- registra a operação atômica
object <- createObject objectId -- cria o objeto chamando createObject
assignAttributes object type -- atribui o tipo e os valores dos
                        -- atributos do objeto chamando
                        -- assignAttributes

assignGeometry object geometry -- atribui a geometria, chamando
                        -- assignGeometry

if validate object
  then return object
  else
    unregister          -- valida o geo-objeto criado e se for
                        -- válido retorna o geo-objeto
    return Nothing     -- se não for válido desfaz registro e
                        -- não retorna nada

```

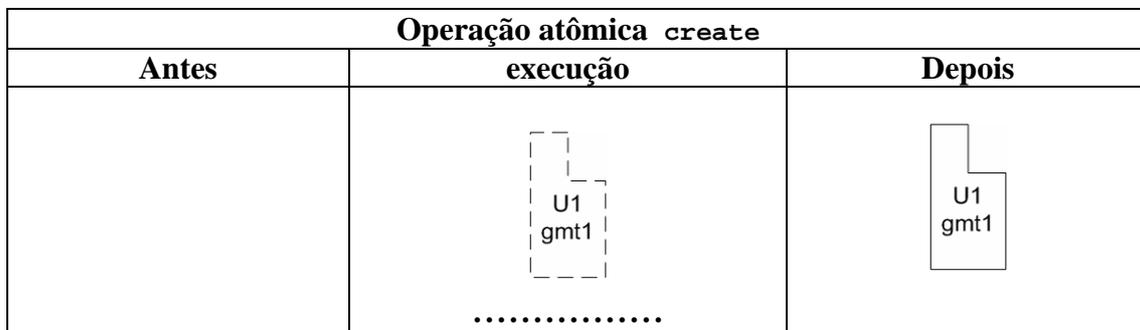


Figura 4.3 – Operação atômica create.

4.4.2.2 Operação atômica destroy

A operação `destroy` (Figura 4.4) destrói um geo-objeto informado, excluindo-o do banco de dados. Ela sempre faz o seu registro, caso o geo-objeto já exista no banco de dados.

```

destroy objected =      -- Dado um geo-objeto (object)
do
  register              -- registra a operação atômica
  destroyObject object -- destrói o geo-objeto chamando
                        -- destroyObject

```

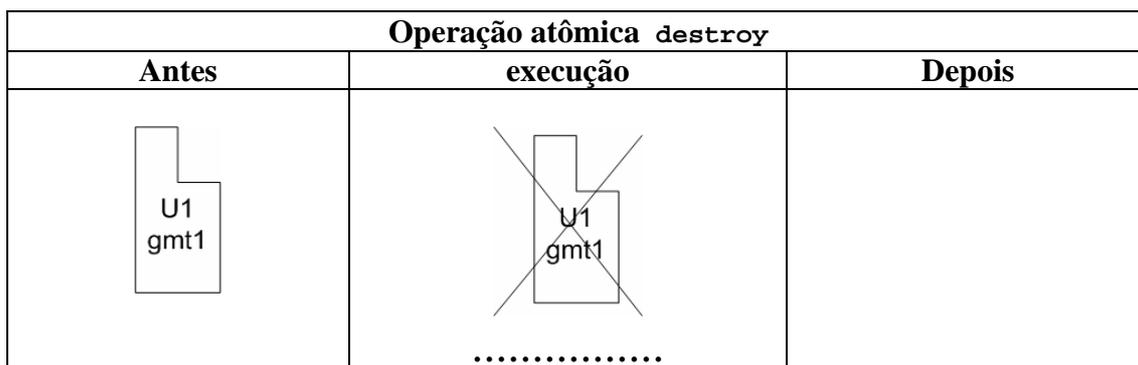


Figura 4.4 – Operação atômica `destroy`.

4.4.2.3 Operação atômica `update`

A operação atômica `update` (Figura 4.5), atualiza as propriedades de um geo-objeto informado, alterando seus atributos e/ou geometria. Ela retorna para a atividade que a chamou se o geo-objeto atualizado for válido, caso não seja o seu registro é desfeito e retorna que o geo-objeto não é válido.

```

update object type geometry =           -- Dado um geo-objeto (object), os
                                         valores dos atributos (type) e
                                         geometria (geometry)

register                                 -- registra a operação atômica
assignGeometry object geometry          -- atualiza a geometria chamando
                                         assignGeometry

assignAttributes object type            -- atualiza os atributos chamando
                                         assignAttributes

if validate object                      -- valida o geo-objeto e retorna
  then return True                       "true" para o geo-objeto válido e
  else                                    "false" para o geo-objeto não
  unregister                              válido
  return False                            -- no caso de "false" desfaz o
                                         registro e retorna o insucesso da
                                         execução.

```

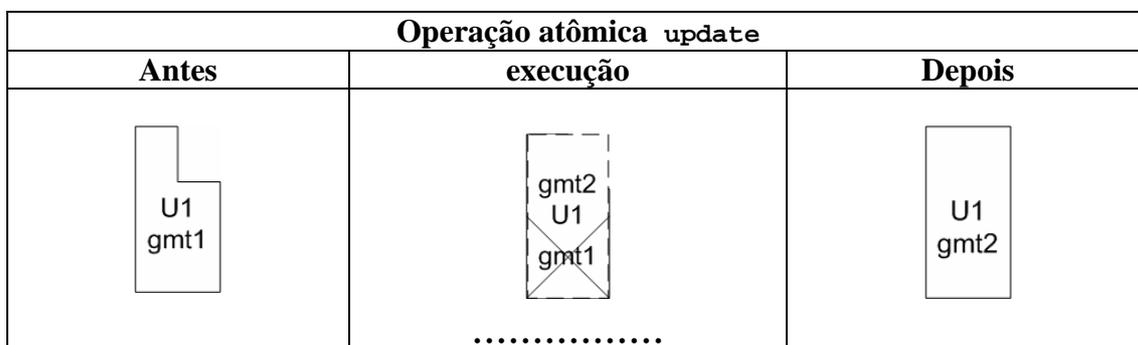


Figura 4.5 – Operação atômica `update`.

4.4.2.4 Operação atômica join

A operação atômica `join` (Figura 4.6), faz a junção de dois geo-objetos informados. Ela atualiza a geometria do primeiro geo-objeto, com a união (operador `union`) das geometrias dos dois geo-objetos envolvidos. O segundo geo-objeto é destruído. Ela retorna para a atividade se o geo-objeto é válido ou não, caso não seja o seu registro é desfeito e retorna para atividade o insucesso da sua execução.

```

join object1 object2 =
  register
  geometry1 <- getGeometry object1
  geometry2 <- getGeometry object2
  destroyObject object2

  assignGeometry object1 (union
  geometry1 geometry2)

  if validate object1
    then return True

  else
    unregister
    return False

```

-- Dado dois geo-objetos (1 e 2)
-- registra a operação atômica
-- Obtém a geometria de cada geo-objeto
-- destrói o geo-objeto2 chamando `destroyObject`
-- atualiza a geometria do geo-objeto1 com a união (`union`) da geometria dos dois geo-objetos chamando `assignGeometry`
-- valida o geo-objeto resultante e retorna "true" para objeto válido e "false" para o objeto não válido
-- no caso de "false" desfaz o registro e o insucesso.

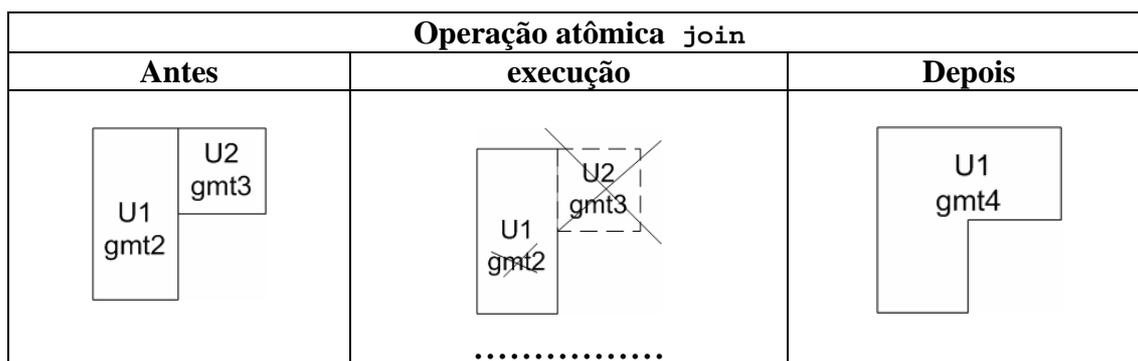


Figura 4.6 – Operação atômica `join`.

4.4.2.5 Operação atômica splinter

A operação `splinter` (Figura 4.7), a partir de uma geometria e de um geo-objeto, atualiza a geometria com a diferença das geometrias e cria um novo geo-objeto do tipo,

valores e geometria, informados. Ela faz o seu registro e se os geo-objetos resultantes forem válidos, retorna o novo geo-objeto, senão desfaz o seu registro e não retorna nada.

```
splinter old objectId type geometry = -- Dado um geo-objeto (old), o id do
                                     -- novo geo-objeto (objectId), o
                                     -- tipo e os valores dos atributos
                                     -- (type) e a geometria (geometry)

  register                             -- registra a operação atômica

  oldGeometry <- getGeometry old      -- obtém a geometria do geo-objeto
  assignGeometry old (difference       -- atualiza a geometria do geo-objeto
oldGeometry geometry)                com a diferença das geometrias
                                     chamando assignGeometry

  new <- createObject objectId         -- cria novo objeto com o id
                                     -- informado (idnew) chamando
                                     -- createObject

                                     -- atribui a geometria e os valores
                                     -- dos atributos ao novo geo-objeto
                                     -- com assignAttributes e
                                     -- assignGeometry

  assignAttributes new type
  assignGeometry new geometry

                                     -- valida os geo-objetos resultantes
                                     -- e se forem válidos retorna o geo-
                                     -- objeto criado

  if validate new && validate old     -- no caso de geo-objetos inválidos,
  then return new                     desfaz o registro e nao retorna
  else                                 nada.
  unregister
  return Nothing
```

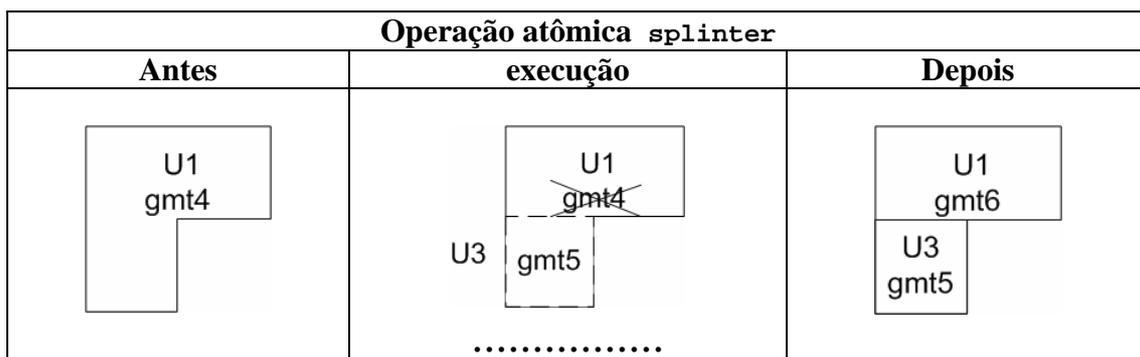


Figura 4.7 – Operação atômica splinter.

4.4.2.6 Operação atômica evolve

A operação evolve (Figura 4.8), evolui um geo-objeto para outro geo-objeto, com o sentido de ocupação do mesmo espaço, podendo os geo-objetos pertencerem a tipos

diferentes. Ela destrói o geo-objeto origem e cria um novo geo-objeto com o identificador, tipo e valores de atributo informados. A geometria é a mesma do geo-objeto destruído (origem). Ela valida os geo-objetos resultantes, e se forem válidos, retorna o geo-objeto criado, caso contrário, desfaz o registro e não retorna nada.

```

evolve old idnew type =                                -- Dado um geo-objeto (old), o id (idnew)
                                                       e o tipo e valores de atributos
                                                       (type)

register                                               -- registra a operação atômica
geometry <- getGeometry old                          -- obtém geometria do geo-objeto
destroyObject old                                    -- destrói o geo-objeto origem (old) com
                                                       assignGeometry

new <- createObject idnew                             -- cria o novo geo-objeto de idnew com
                                                       createObject

assignAttributes new type                             -- atribui tipo, valores de atributo e
assignGeometry new geometry                          -- geometria com assignAttributes e
                                                       assignGeometry

if validate new                                       -- valida o geo-objeto resultante e se
  then return new                                     for válido retorna o geo-objeto
  else                                                senão desfaz o registro e nao
  unregister                                          retorna nada.
  return Nothing

```

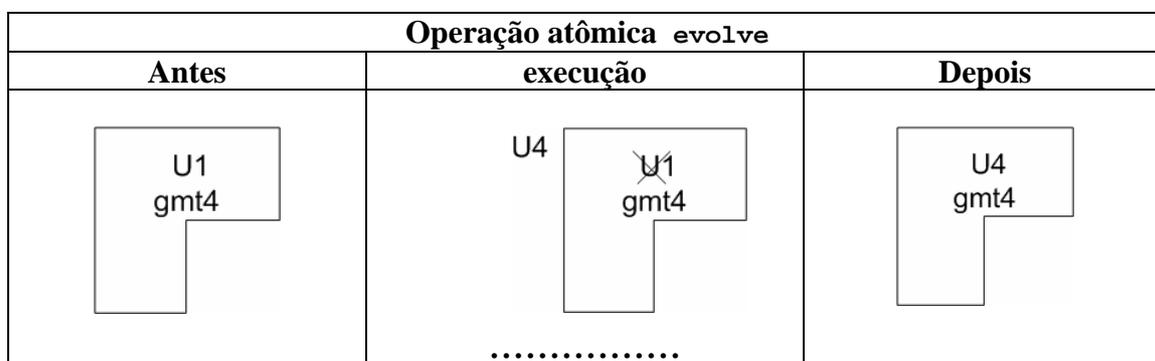


Figura 4.8 – Operação atômica evolve.

A distinção dos geo-objetos origem e destino de uma operação atômica, para a descrição detalhada de sua história, podem ser obtidos através das operações básicas que foram executadas. Usa-se uma função que interpreta cada operação básica, considerando-se a sua semântica, e gerando dois conjuntos de objetos: entradas e saídas. Essa interpretação de cada operação básica é, para a `createObject`, o objeto envolvido, ou seja, o de

saída ou resultante; já para a `destroyObject` o objeto é o origem de entrada; para a `assignAttributes` e `assignGeometry` o objeto é o de entrada e saída.

As operações atômicas possuem uma correspondência com as operações de identidade apresentadas no Capítulo 3, por cada autor na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Operações atômicas x operações de identidade.

| Operação atômica | Operação de identidade | Autor |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------|
| create | create | Medak |
| destroy | destroy | Medak |
| splinter | splinter | Hornsby e Engenhofer |
| join | merge | Hornsby e Engenhofer |
| evolve | evolve | Medak |

Esse é o conjunto de operações atômicas suficiente para compor as ações de mudanças das atividades dos exemplos desta pesquisa.

4.4.3 Atividades propostas

Cada atividade realiza o seu registro no banco de dados. Ela registra a atividade executada (`model`), o plano de ação do projeto que a executou (`plan`), o intervalo de tempo do mundo real em que foi realizada a atividade (`interval`) e o agente de mudança responsável pela sua execução (`responsible`). A atividade tem registrado cada operação atômica chamada (`atomics`).

```
ActivityProject = {model, plan, interval responsible}
```

As cinco atividades definidas no modelo para exemplificar e validar a proposta são

```
ActivityModel =
  Initial | Reparcel | StreetExpansion | Public | Restructure
```

A atividade define a lógica de transformação da mudança nos geo-objetos através da execução de um conjunto de operações atômicas. Como a definição dessa transformação é conforme a realidade social representada, a semântica de cada uma dessas operações será detalhada no Capítulo 5, para facilitar a compreensão dos exemplos de projetos do cadastro urbano.

Os registros das operações da hierarquia de mudanças incrementais, atividades, operações atômicas e básicas, são relevantes para a descrição da história de mudanças incrementais cujas questões, assim como suas respostas, são apresentadas na próxima Seção.

4.5 Composição da história de mudanças incrementais

A recuperação da história da evolução dos geo-objetos é de extrema relevância para a análise da dinâmica do mundo real e para uma melhor compreensão dos fenômenos que promovem as mudanças. Também é de grande importância para a memória organizacional, a compreensão de como uma informação foi obtida ou gerada, para a composição da história em documentos descritivos, legais ou informativos e para a melhoria dos processos que promovem as mudanças. As perguntas fundamentais sobre mudanças incrementais nos geo-objetos que precisam ser respondidas são: *porque* ocorreu a mudança?; *qual* mudança ocorreu?; *onde* ocorreu a mudança(objetos envolvidos)?; *quem* foi o responsável pela mudança?; *como* a mudança foi realizada? (executada no SIG); *quando* a mudança foi realizada?; *o que* mudou?. (objetos resultantes e suas propriedades). Conforme Peerbocus *et al.* (2004) essas perguntas se resumem em *Why, Which, Where, Who, How, When e What.*

Na Tabela 4.4 é apresentada as questões, seu significado e onde as respostas podem ser obtidas. Essas respostas, conforme o modelo proposto, são resultado dos registros das atividades, operações atômicas e operações básicas.

Tabela 4.4 – Questões básicas de mudança incremental

| Questões | Significado | Origem da Informação | Registro |
|-----------------|--|--|--|
| <i>Why</i> | <i>Porque</i> ocorreu a mudança? | Nome do plano de ação. | Atributo plan da atividade. |
| <i>Which</i> | <i>Qual</i> mudança ocorreu? | Operação modelo da atividade. | Atributo model da atividade. |
| <i>Where</i> | <i>Onde</i> ocorreu a mudança? | Objetos de entrada da atividade. | Objetos origem (entrada) da atividade. |
| <i>Who</i> | <i>Quem</i> foi o responsável pela mudança? | Nome do responsável pela atividade. | Atributo responsible da atividade. |
| <i>How</i> | <i>Como</i> a mudança foi realizada? | Operações atômicas de uma atividade, com suas básicas. | Registro de cada operação atômica chamada pela atividade e de cada operação básica chamadas por essas operações atômicas. Descrição dos atributos registrados. |
| <i>When</i> | <i>Quando</i> a mudança ocorreu? | Intervalo de execução da atividade. | Atributo interval da atividade. |
| <i>What</i> | <i>O que</i> mudou ? (objetos resultantes e suas propriedades) | Operações básicas e seus resultados, mudança nas propriedades dos objetos. | Registro de cada operação básica chamadas pelas atômicas da atividade. Atributo model, object (id), geometry e valores dos atributos (type) |

4.6 Conclusão

Analisando-se algumas propostas existentes, é possível observar a importância de registrar as mudanças incrementais para descrever a sua história, conforme a semântica do domínio de aplicação. Essa semântica descrita por um conjunto de operações padrão, dispostas hierarquicamente, pode através de uma estratégia *bottom-up*, de operações básicas, operações atômicas e atividades, definir a semântica de mudanças complexas, gradativamente. As atividades, nível mais alto de complexidade das operações, são compostas por um conjunto de operações atômicas que são compostas por operações básicas. Assim, a proposta do modelo de mudança incremental da realidade social desta tese se baseia na definição de um conjunto consistente e suficiente de operações modelo ou padrão capazes de realizar essas mudanças. Esse conjunto de operações permite que

atividades sejam promovidas pela composição de operações conhecidas (operações atômicas) e que sejam pré-estabelecidas em um plano de ação, além de todos os planos de ação utilizarem o mesmo conjunto de operações modelo para sua execução.

O processo de modelagem requer a definição da semântica de mudanças incrementais, pelos agentes de mudança do domínio de aplicação, que possibilite a definição das operações dispostas na hierarquia proposta. As mudanças promovidas por atividades seguindo esta proposta podem ser realizadas pelo SIG mais próximas da realidade representada, e o adequado registro dessas operações é capaz de prover as respostas às questões elementares espaço-temporais.

5 MODELAGEM DE MUDANÇA INCREMENTAL DO CADASTRO URBANO

Este Capítulo apresenta alguns exemplos para demonstrar o modelo de mudança incremental proposto. O seu objetivo é mostrar que cada atividade, ao ser definida por uma composição de operações atômicas, está seguindo um padrão de execução de mudanças, e que é flexível o suficiente para representar a semântica da mudança desejada nos geo-objetos. Outro objetivo é mostrar que cada atividade, ao registrar as operações atômicas e básicas, possibilita uma descrição detalhada e satisfatória de como foram realizadas as mudanças nos geo-objetos. Para isso, são apresentados alguns exemplos de mudanças associadas à realidade social no domínio do cadastro urbano. Como visto no Capítulo anterior, essas atividades estão relacionadas à ontologia de aplicação e, portanto, o modelo é exemplificado através de algumas atividades do Cadastro Urbano do Município de Belo Horizonte. Não é objetivo dessa tese definir o conjunto de todas as atividades do cadastro urbano, mas sim, o conjunto necessário para validação e demonstração da proposta.

Este Capítulo apresenta a complexidade do domínio do cadastro urbano em relação à sua dinâmica e as diferentes visões da realidade. A seguir, são descritos os principais conceitos envolvidos e a definição dos geo-objetos utilizados nos exemplos. São apresentados os projetos cujas atividades foram definidas pela composição de operações atômicas propostas no Capítulo anterior. Cada uma das atividades exemplificadas é detalhada, com: (a) a descrição da sua lógica através do pseudocódigo; (b) uma ilustração do cenário da mudança, passo a passo, através da representação vetorial de geo-objetos fictícios; (c) a descrição da mudança promovida nos geo-objetos, obtida através do registro da atividade, das operações atômicas básicas. Finalmente, alguns exemplos de questões referentes a mudanças espaciais e temporais são apresentados, as quais podem ser respondidas através da recuperação das operações registradas pelas atividades.

5.1 Realidade social da aplicação do Cadastro Urbano de Belo Horizonte

Belo Horizonte é a quarta cidade do país em população, sendo que possui mais de 2,1 milhões de habitantes. Ela foi a primeira cidade planejada do país, e em 1997 completou o seu centenário. Originalmente a cidade foi projetada através de uma planta de parcelamento do solo (PBH, 2003).

O território do município foi adquirido pelo Estado e depois parte dele foi repassado para a população. Muitas áreas continuaram de domínio público estadual, mesmo sem o próprio conhecimento desse, devido à falta de comprovação de titulação pelos ocupantes. Houve também alienações para terceiros sem a formalização devida, gerando ocupações particulares de grandes áreas. Algumas alienações para instituições, como igrejas e hospitais, não foram implantadas, gerando áreas devolutas e muitas vezes sem a oficialização da titulação pelo poder público. Muitas áreas alienadas foram doadas sem a devida documentação. Algumas áreas foram reservadas pelo Estado para a formação de um cinturão verde em volta do município, mas acabaram sendo subdivididas. Em muitos casos, essas áreas se tornaram parte do sistema viário, porém até hoje não foram transferidas ao patrimônio público municipal.

Devido ao acelerado crescimento da cidade, algumas áreas desocupadas foram loteadas com uma lógica diferente do padrão oficial vigente à época, a partir de plantas particulares e não aprovadas. Loteamentos com algum grau de regularidade, e com vias e áreas públicas implantadas foram, mais tarde, oficializados pelo poder público para possibilitar o registro dos imóveis.

A cidade a cada momento se transforma, devido à atuação de vários agentes, com a implantação de loteamentos por empreendedores particulares, e com a ocupação informal de espaços por famílias e indivíduos, gerando favelas, vilas ou bairros. O poder público também é um agente de mudança, que promove expansão de vias e redes de infra-estrutura, podendo envolver desapropriações, agregações ou desagregações de áreas. Além disso, existem diferenças semânticas entre as visões dos diversos órgãos públicos que atuam sobre a cidade, tornando-as incompatíveis entre si e dificultando o controle e o planejamento da cidade. Resumidamente, elas existem devido a uma

compartimentabilização administrativa, segundo a qual órgãos distintos que atuam sobre a cidade não se comunicam adequadamente, e são regidos por conjuntos distintos de leis e regras. Com isso, os processos de mudança ocorrem de forma independente e incompatível entre órgãos, levando às divergências inclusive documentais, e à falta de interconexão entre as ações. Como resultado, é possível perceber três conjuntos distintos de percepções sobre o parcelamento do solo da cidade, as visões *legal*, *fiscal* e *real*.

A *visão legal* corresponde ao conjunto dos loteamentos e edificações licenciados conforme a legislação vigente, através de documentos legais, como alvarás de construção, plantas de loteamento aprovadas, títulos cartoriais e outros. A *visão fiscal* corresponde à percepção da propriedade como fato gerador para arrecadação de impostos prediais e territoriais. Já a *visão real* corresponde ao que foi efetivamente implantado, edificado e ocupado na cidade. Essa visão é adotada pelo Cadastro Técnico Municipal (CTM), embora, para sua definição, sejam analisados aspectos das visões legal e fiscal. Essas diferenças dificultam a percepção da situação existente, por exigir que se estabeleça uma correspondência entre os elementos de cada visão. Por exemplo, para se conhecer a localização de um lote real, registrado em cartório, é necessário recorrer à planta de aprovação do parcelamento do solo; no entanto, a situação registrada nessa planta nem sempre corresponde à realidade edificada, capturada pelo CTM. Isso acarretou a criação de diferentes cadastros, um para cada visão da cidade.

Em 1999, houve a formação do grupo GTCL – Grupo Técnico de Compatibilização de Lotes na Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH). Esse grupo, desde então, se reúne periodicamente para discutir e nivelar todos os conceitos, representações e ações de mudanças sobre os geo-objetos; além de determinar regras para compatibilizar as três visões do parcelamento do solo do município. Seus integrantes são os coordenadores dos processos de parcelamento do solo do município. A visão legal cabe à Secretaria Municipal de Regulação Urbana (SMRU), a visão tributária cabe à Secretaria Municipal de Arrecadação (SMAR) e a visão do Cadastro Técnico Municipal cabe à Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL). Esse grupo busca acordos semânticos para melhorar o sistema de informação cadastral do

município e eliminar as barreiras semânticas entre as visões. Parte do resultado desses acordos está apresentada na Tabela 5.1, que traz conceitos sobre elementos urbanos compartilhados pelas três visões, em alguns casos.

Tabela 5.1 – Alguns conceitos do cadastro urbano de Belo Horizonte.

| Conceito | Descrição |
|-----------------------------|---|
| Lote CTM | Porção de terreno definida a partir da codificação de uma situação de direito, identificada de três maneiras: através da planta aprovada ou particular; através do índice cadastral do IPTU; ou através de visita ao local e pesquisa documental, abrangendo todo o território do município. |
| Lote Legal | Porção de terreno parcelado, com frente para a via pública e destinado a receber edificação. Pela Lei do Uso do Solo vigente “os lotes devem ter área mínima de 125 m ² e máxima de 5.000 m ² , com no mínimo, 5,00 m de frente e relação de profundidade e testada não superior a 5. (Lei 7166, Art. 17, Alínea II) |
| Via | Área destinada à circulação de veículos e/ou pedestres, lindeira a lote, gleba ou área pública, oficializada através de planta de parcelamento do solo ou pavimentada pelo poder público ou privado. |
| Área de propriedade pública | Áreas pertencentes ao poder público, municipal, estadual ou federal, podendo ter diversas utilizações e/ou destinações. |
| Área remanescente | Sobras de áreas desapropriadas na implantação de logradouros públicos. |
| Área desapropriada | Qualquer área resultante de um processo judicial de desapropriação. |
| Gleba | Terreno não parcelado com a diferença entre a área construída e a área total do terreno superior a 6.000 m ² . Obs. Termo não utilizado pelo CTM. |
| Parcelamento Legal | Processo de criação de lotes, vias, áreas de equipamentos urbanos e/ou comunitários, e de espaços livres de uso público, através de aprovação de plantas, caracterizado nas seguintes figuras: loteamento, desmembramento, modificação de parcelamento e reparcelamento. |
| Parcelamento Legal | Processo de criação de lote |
| Reparcelamento Legal | Processo de criação de lotes a partir de modificação do parcelamento anterior promovendo a alteração ou criação de vias e/ou espaços livres de uso público. |
| Reparcelamento CTM | Toda modificação ocorrida em lote. |
| Modificação de Parcelamento | Processo de criação de lotes a partir de modificação do parcelamento anterior podendo incluir trechos de vias desde que para promoção da regularização originada de desapropriação |
| Desmembramento | Processo de criação de lotes a partir do parcelamento de terreno indiviso ou gleba sem a necessidade de implantação de via pública. |

Fonte – Documento Interno: PBH (2002).

Esses conceitos não são suficientes para esclarecer como as mudanças devem ser realizadas, ou mesmo qual o padrão de operações associado a cada uma delas. Embora existam documentos internos (por exemplo, o Manual de Quadras e Compatibilização de Lotes do CTM) (PRODABEL, 1999; PRODABEL, 2001) que descrevem como as atividades devem ser realizadas, eles ainda não foram objeto de acordo semântico, nem padronizam as operações que precisam ser realizadas para implementar as mudanças no SIG. Dessa forma, os responsáveis pela manutenção dos sistemas e bancos de dados geográficos não seguem um padrão para executar as mudanças. Assim, é impossível recuperar como foi realizada cada atividade que promoveu essas mudanças nos geo-objetos, identificando as operações e sua seqüência, os geo-objetos envolvidos e o motivo dessa atividade.

A preocupação do GTCL em definir a ontologia do cadastro urbano, de realizar as mudanças conforme padrões pré-definidos e de registrar a sua história, além das recentes pesquisas apresentadas no referencial teórico desta tese, são a motivação para se utilizar este domínio na validação do modelo proposto. A seguir, são detalhados os geo-objetos do cadastro urbano adotados nos exemplos.

5.2 Geo-objetos para o exemplo do cadastro urbano

Para facilitar a demonstração do modelo de mudança incremental proposto serão usadas as distinções de visões da cidade, somente em uma atividade para exemplificar as diferenças semânticas de atividades similares. Os geo-objetos e suas propriedades, necessárias para os exemplos adotados estão descritos na Tabela 5.2. Eles são classificados como objetos *continuants* em relação a sua existência, por permanecerem existindo por um longo período de tempo, como visto no Capítulo 3.

Os tipos de objetos considerados são: o *lote* (*Parcel*), a *via* (*Street*) e a *área pública* (*PublicArea*). O conceito de área pública adotado é de uma área de propriedade pública que passou por um processo judicial de desapropriação, que corresponde aos conceitos de área desapropriada e área de propriedade pública da Tabela 5.1.

```
Type =
  Parcel {owner, public, usage} | -- lote
  Street {name, public, type} | -- via
  PublicArea {usage}          -- área_pública
```

Tabela 5.2 – Geo-objetos adotados no exemplo do cadastro urbano.

todos os seus atributos foram informados corretamente e, para o lote, se os seus limites correspondem aos permitidos. Por exemplo, para a área de um lote ser válida ela tem que atender os limites estipulados pela lei do Uso do Solo, Tabela 5.1. As operações atômicas `create`, `destroy`, `update`, `evolve`, `splinter` e `join`, propostas no Capítulo anterior, são consideradas suficientes para registrar as mudanças de vida e evolução dos geo-objetos do cadastro urbano.

5.3 Exemplos de atividades do cadastro urbano

As atividades são objetos *ocurrents*, conforme a classificação de existência, pois são ações que ocorrem por um período curto de tempo. As atividades definidas como exemplo do cadastro urbano, estão apresentadas na Tabela 5.3 e são detalhadas nas seções seguintes. Essa tabela descreve a mudança realizada por cada atividade e os tipos de geo-objetos envolvidos, as funções em Haskell da implementação da atividade e das operações atômicas executadas.

Tabela 5.3 – Atividades do exemplo do cadastro urbano.

| Atividade | Descrição | Função | Operações Atômicas | Objetos envolvidos |
|--|--|------------------------------|---|------------------------------|
| <i>cadastro inicial</i> | Faz o cadastro de geo-objetos que não possuem predecessores e cuja origem é descritiva. | <code>initial</code> | <code>create</code> | lote via |
| <i>reparcelamento de lote</i> | Reparcela um lote resultante de um parcelamento. | <code>reparcel</code> | <code>splinter</code> <code>evolve</code> | lote |
| <i>alargamento de via</i> | Realiza a modificação de uma via no sentido de sua largura, a partir de áreas parciais ou totais de geo-objetos que passaram por processo de desapropriação. | <code>streetExpansion</code> | <code>splinter</code> <code>evolve</code> <code>join</code> | lote área_ pública via |
| <i>modificação de parcelamento de lote</i> | Realiza uma modificação de parcelamento de uma área pertencente a um conjunto de lotes, através de uma nova subdivisão, gerando novos geo-objetos. Porém, esta atividade não registra cada porção de área de um objeto individual que deu origem a cada geo-objeto novo. Ela cria novos lotes e vias à partir de um conjunto de lotes e ruas origem. | <code>restructure</code> | <code>create</code> <code>destroy</code> | lote via |

Os exemplos de projetos utilizados para a demonstração do modelo de mudança incremental proposto estão demonstrados na Tabela 5.4. Essa tabela detalha por atividade o plano do projeto (`activityProject`), descrito na Seção 4.4.3, destacando a atividade modelo executada (`model`), o nome do projeto (`plan`), o período de realização da execução da atividade (`interval`) e o seu responsável (`responsible`). Para cada atividade também são descritos os geo-objetos envolvidos (entradas e saídas da atividade). São exemplificados três projetos, realizados em períodos distintos e sequenciais.

Tabela 5.4 – Projetos x atividades dos exemplos do cadastro urbano.

| Projeto | Nome do projeto | Respons. | Atividade (model) | Período | Geo-objetos envolvidos | |
|---------|----------------------------------|----------|------------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| | | | | | Entr. | Saída |
| 1 | Cadastro Inicial P0-S1 | Márcia | <i>inicial</i> | 1980-01-02 1980-01-03 | P0 S1 | P0 S1 |
| 2 | Reparcelamento P0 | Ricardo | <i>reparcelamento de lote</i> | 1995-05-03 1995-06-10 | P0 | P2 P3 P4 P5 P6 |
| 3 | Duplicação da Av. Antônio Carlos | Marcos | <i>alargamento de via</i> | 2003-06-05 2007-08-02 | P2 P4 P6 S1 G1 | P4 PA8 S1 |
| | | | <i>modificação de parcelamento</i> | 2007-08-07 2009-10-10 | P3 P4 P5 PA8 | P11 P12 P13 P14 S10 |

A Figura 5.1 mostra os geo-objetos envolvidos na atividade antes da sua execução e, os geo-objetos resultantes, após a execução de cada atividade.

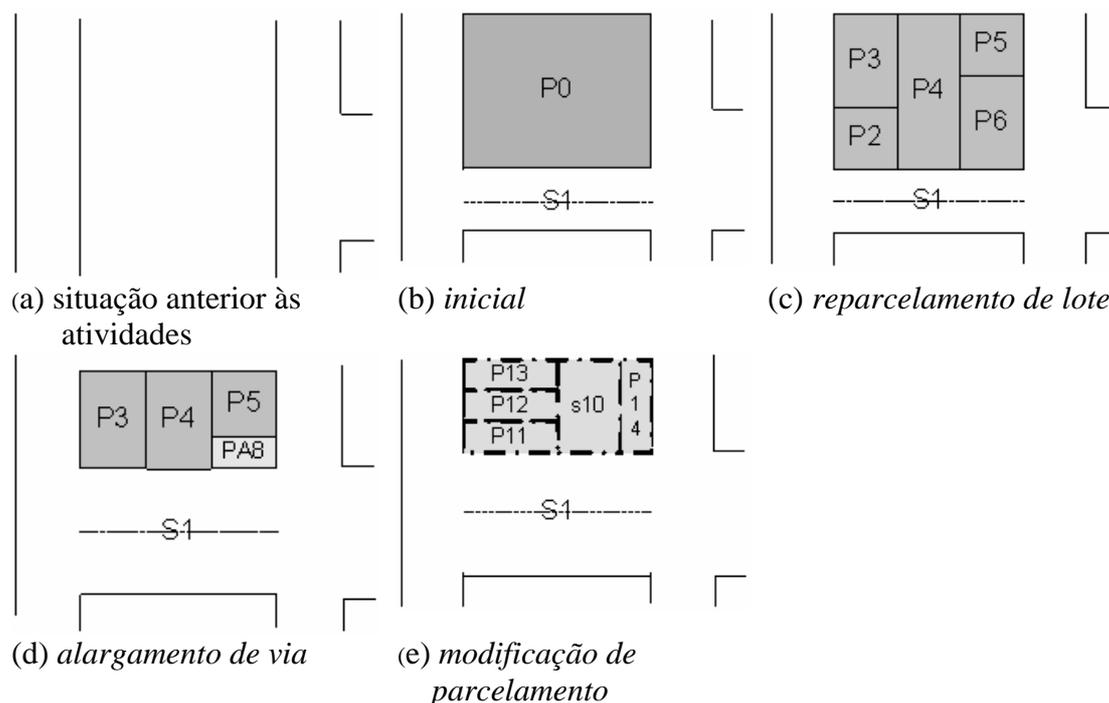


Figura 5.1 – Geo-objetos resultantes de cada atividade dos exemplos.

As Seções seguintes descrevem cada atividade da aplicação do cadastro urbano de Belo Horizonte, apresentam o seu pseudocódigo, ilustram os passos da execução do exemplo e demonstram um exemplo de sua descrição histórica obtida do registro das operações de mudança incremental.

No pseudocódigo são utilizadas as funções `register`, `unregister` e `validate` da Tabela 4.1. Algumas funções de lista são também usadas, como: `map`, que aplica uma função recebida como parâmetro em todos os elementos de uma lista; `head`, que obtém o primeiro elemento da lista; e `tail` que obtém todos os elementos de uma lista, exceto o primeiro.

Toda atividade tem em seus parâmetros de entrada os dados do plano do projeto (`activityProject`).

```
activityProject = {model, plan, interval responsible}
```

Um objeto, conforme apresentado na Seção 4.4, é

```
object = {objectId, type, geometry}
type = {objectType, attr1, ..., attrn}
```

5.3.1 Atividade *inicial*

A atividade *inicial* realiza a criação de geo-objetos que não derivam de outros existentes no banco de dados. Essa atividade cria no banco de dados um conjunto de geo-objetos informados. A operação atômica executada nesta atividade é a *create*, que por sua vez executa a operação básica *createObject*. Essa função toma como entrada os geo-objetos (*objects*) e os dados do projeto da atividade (*activityProject*).

```
initial activityProject objects =
  register
  created <- map create objects
  return created
```

Dados os dados do projeto da atividade(*activityProject*) e os geo-objetos (*objects*) para cada um dos objetos informados (*objects*) chama a operação atômica *create* para criar o geo-objeto retorna os geo-objetos criados

A Figura 5.2 apresenta a ilustração da atividade *inicial* do projeto “Cadastro Inicial P0-P1” para a criação de dois geo-objetos, a via S1 (*street1*) e o lote P0 (*parcel0*). Ela mostra (a) os geo-objetos antes da execução da atividade e (b) os geo-objetos resultantes dessa atividade.

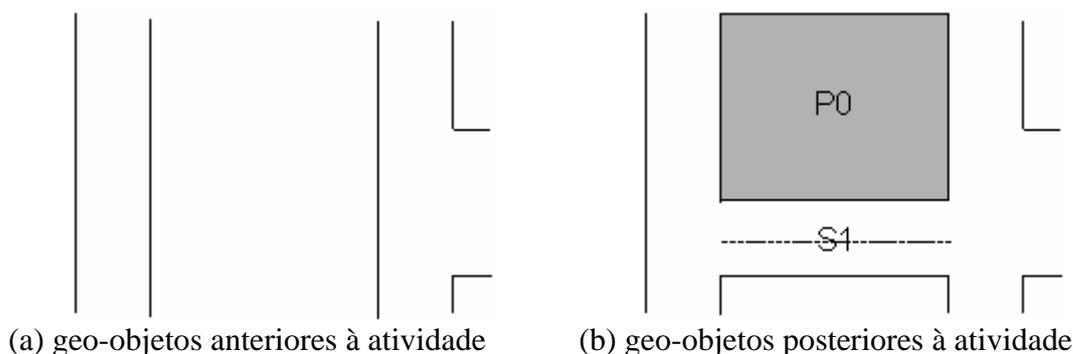


Figura 5.2 – Atividade *inicial* do projeto “Cadastro Inicial P0-P1”.

Uma descrição da história dessa atividade a partir do seu registro é apresentada na Figura 3.1. Essa história é uma alternativa de descrição de vida e evolução dos geo-objetos, através da recuperação dos dados registrados pela atividade. Ela descreve os geo-objetos resultantes da atividade, o nome do usuário responsável, o intervalo de execução e o projeto do seu plano de ação. Também, detalha cada operação atômica executada com o(s) seu(s) geo-objeto(s) resultante(s). E, por operação atômica, descreve

as operações básicas, com os seus geo-objetos resultantes e as propriedades dos geo-objetos modificadas.

```
* Activity Inicial, resulting object(s) 0 and 1, executed by Marcia
as a part of plan Cadastro Inicial P0-S1. It started in 1980-01-02
and finished at 1980-01-03. This activity was executed with the
following atomic operations:
  * Create, resulting object(s) 0, with the following basic
operations:
    * Create in object 0.
    * Assign Attributes to Parcel with owner "Maria", domain
"Privado", usage "Residencial" in object 0.
    * Assign Geometry in object 0.
  * Create, resulting object(s) 1, with the following basic
operations:
    * Create in object 1.
    * Assign Attributes to Street with name "Av. Antonio
Carlos", domain "Público", type "primário" in object 1.
    * Assign Geometry in object 1.
```

Figura 5.3 – Descrição da história da atividade *inicial* do projeto Cadastro Inicial P0-P1.

5.3.2 Atividade *reparcelamento de lote*

A atividade *reparcelamento de lote* realiza a modificação de uma área que já foi parcelada, com o significado de reparcelamento. Ela subdivide um geo-objeto e, para isso, recebe o geo-objeto a ser parcelado e os geo-objetos a serem criados. A área total de todos os geo-objetos corresponde à área a ser reparcelada. Nessa atividade são utilizadas as operações atômicas *splinter* e *evolve*. Os passos para sua execução são os seguintes:

- 1) realiza a operação atômica *splinter* com o geo-objeto origem e cada um dos geo-objetos informados, para todos os geo-objeto informados exceto o primeiro;
- 2) evolui o geo-objeto origem, resultante do passo 1, para o primeiro geo-objeto informado, cujas geometrias são iguais.

Essa atividade corresponde em termos de operação de identidade à operação *divide* ou *fission* da Tabela 3.3.

```

reparcel activityProject object
objects =

register
Objectspli <- tail objects
splintered <- map (splinter
object) objectspli

evolved <- evolve (head objects)
object
reparceled <- (evolved ++
splintered)
return (reparceled)

-- Dados os dados do projeto da
atividade (activityProject), o
geo-objeto a ser
reparcelado(object) e os geo-
objetos a serem criados (objects)
com ids, tipos, atributos e
geometrias dos novos geo-objetos
-- registra a atividade
-- para cada um dos objetos
informados (objects), exceto o
primeiro, chama a operação atômica
splinter para dividir o objeto a
ser parcelado e criar novos.
-- evolui o geo-objeto a ser
parcelado (object), com geometria
resultante, para o primeiro geo-
objeto informado.
-- retorna os geo-objetos resultantes
do reparcelamento

```

A atividade *reparcelamento de lote* do projeto "Reparcelamento P0" faz uma subdivisão do lote P0 nos lotes P2, P3, P4, P5 e P6, conforme os passos mostrados na Figura 5.4. O lote P0 na última divisão evolui para o lote P6. (Figura 5.4g).

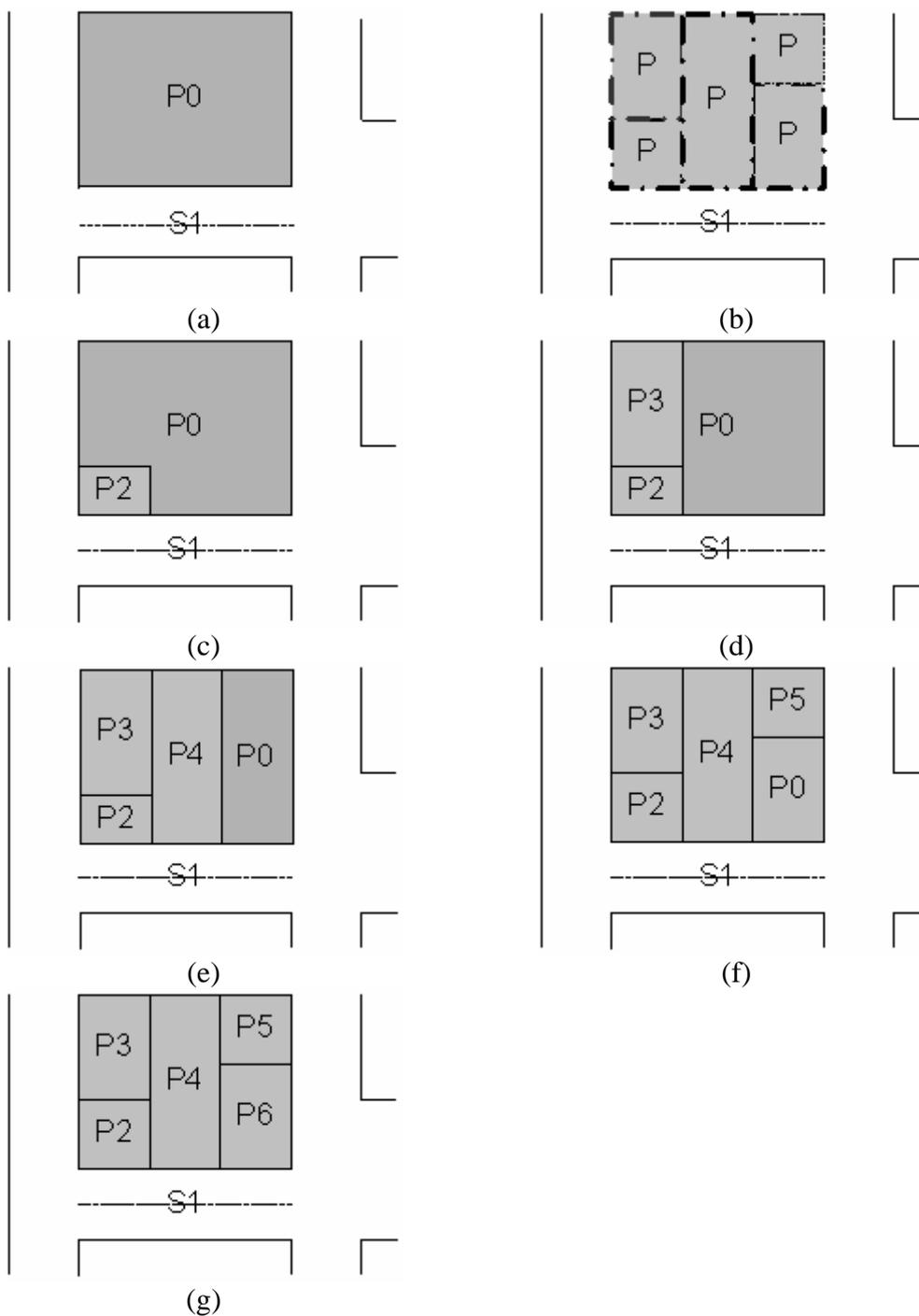


Figura 5.4 – Atividade *reparcelamento de lote* do projeto “Reparcelamento P0”.

Na Figura 5.5 tem-se o histórico da atividade *reparcelamento de lote* do projeto “Reparcelamento P0”.

```

* Activity Reparcelamento P0, applied to object(s) 0, resulting object(s) 2,
3, 4, 5 and 6, executed by Ricardo as a part of plan Reparcelamento P0. It
started in 1995-05-03 and finished at 1995-06-10. This activity was executed
with the following atomic operations:
  * Splinter, applied to object(s) 0, resulting object(s) 0 and 2, with the
following basic operations:
    * Assign Geometry in object 0.
    * Create in object 2.
    * Assign Attributes to Parcel with owner "Joao", domain "Privado",
usage "Residencial" in object 2.
    * Assign Geometry in object 2.
  * Splinter, applied to object(s) 0, resulting object(s) 0 and 3, with the
following basic operations:
    * Assign Geometry in object 0.
    * Create in object 3.
    * Assign Attributes to Parcel with owner "Thiago", domain "Privado",
usage "Residencial" in object 3.
    * Assign Geometry in object 3.
  * Splinter, applied to object(s) 0, resulting object(s) 0 and 4, with the
following basic operations:
    * Assign Geometry in object 0.
    * Create in object 4.
    * Assign Attributes to Parcel with owner "Guilherme", domain
"Privado", usage "Residencial" in object 4.
    * Assign Geometry in object 4.
  * Splinter, applied to object(s) 0, resulting object(s) 0 and 5, with the
following basic operations:
    * Assign Geometry in object 0.
    * Create in object 5.
    * Assign Attributes to Parcel with owner "Caroline", domain "Privado",
usage "Residencial" in object 5.
    * Assign Geometry in object 5.
  * Evolve, applied to object(s) 0, resulting object(s) 6, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 0.
    * Create in object 6.
    * Assign Attributes to Parcel with owner "Patricia", domain "Privado",
usage "Residencial" in object 6.
    * Assign Geometry in object 6.

```

Figura 5.5 – Descrição da história da atividade *reparcelamento de lote* do projeto “Reparcelamento P0”.

5.3.3 Atividade *alargamento de via*

O projeto “Duplicação da Av. Antônio Carlos” tem várias atividades definidas, desde a desapropriação de áreas para implantação do alargamento da via até a abertura de novas vias, a construção de uma trincheira e várias modificações de parcelamento. Essa é uma avenida principal de Belo Horizonte, que liga a área central, próxima à rodoviária, ao aeroporto e ao complexo turístico e arquitetônico da Pampulha. Um dos objetivos da duplicação da avenida é facilitar o acesso ao aeroporto e à região da Pampulha. Esse projeto compreende um trecho de 3,9 km que vai do bairro São Francisco, no Anel

Rodoviário, até o Complexo da Lagoinha, região central da cidade. Esse é um projeto definido desde 2003 e, atualmente, em execução, com término previsto para 2008.

A Figura 5.6 mostra um trecho, com estabelecimentos comerciais e residenciais no entorno da Avenida. Antonio Carlos entre o viaduto São Francisco e a Avenida Américo Vespúcio, com áreas que foram desapropriadas para a criação de novas vias e lotes. A Figura 5.6a mostra uma visão geral de uma parte do projeto e os geo-objetos envolvidos e já a Figura 5.6b, destaca uma área que será modificada conforme o projeto onde a Av. Antonio Carlos é a via mais larga..



(a) visão geral do projeto

(b) trecho de alargamento da avenida

Figura 5.6 – Alguns geo-objetos do projeto “Duplicação da Av. Antônio Carlos”.

Fonte: Prodabel/Sudecap, julho 2005.

As imagens da Figura 5.7 correspondem a mesma área da Figura 5.7b, mostrando em (a) a área anterior à execução do projeto e ainda de domínio privado, além de destacar em (b) a diferença dos geo-objetos existentes e dos geo-objetos projetados.



(a) imagem anterior à execução do projeto (b) geo-objetos implantados x projetados

Figura 5.7 – Imagem de uma parte da avenida que será modificada.

Fonte: Foto aérea de 1998-1999, Prodabel.

A seguir, a, Figura 5.8 apresenta a área já desapropriada e de domínio público, com as edificações demolidas e sendo preparada para a duplicação de parte da avenida associada à implantação de uma nova via.



Figura 5.8 – Imagem da área preparada para execução do alargamento.

Fonte: Imagem do satélite QuickBird de março de 2006, SMARU.

Existem várias possibilidades de definição das atividades para um projeto. Uma das atividades do projeto “Duplicação da Av. Antônio Carlos”, Tabela 5.4, é a atividade *alargamento de via*, associada a decretos como o de N°. 11.617 de 23 de Janeiro de 2004, que aprova a desapropriação da área da Figura 5.7 e Figura 5.8. Essa atividade realiza a expansão de uma via no sentido de sua largura, e, para isso, alguns geo-objetos cedem sua área total ou parcial para ser incorporada à área da via. Esses geo-objetos,

geralmente, passam por um processo judicial de desapropriação quando são do domínio privado. Essa foi a atividade escolhida para demonstrar a diferença na semântica de atividades, conforme a realidade representada. As visões da cidade legal e real possuem diferenças significativas na definição desta atividade, pois na visão do CTM não é relevante registrar a atividade *desapropriação* de forma explícita e por isso, a atividade *alargamento de via* das duas visões possuem semânticas (lógicas) diferentes. Na Seção 5.3.3.1, é apresentada a atividade *desapropriação* necessária para a descrição da história na visão legal da cidade. Ela identifica a diferença na definição e composição das operações atômicas de uma atividade, conforme a realidade de cada uma dessas visões da cidade.

A atividade *alargamento de via*, na visão do CTM (legal), recebe os dados do plano do projeto (`activityProject`), a área de expansão da via (`geometry`), o geo-objeto da via (`street`) e os geo-objetos (`objects`) que vão contribuir com a área total ou parcial para a área de expansão da via. Ela retorna os geo-objetos resultantes do alargamento. As operações atômicas utilizadas nessa atividade são a `evolve`, `splinter` e `join`.

Os geo-objetos que têm somente parte da sua área incorporada à via, conforme as regras de validação de cada tipo de geo-objeto, podem incorrer nos seguintes resultados:

- 1) o geo-objeto origem perde a sua existência porque as características que garantem que ele permaneça sendo o mesmo não são mantidas (como por exemplo os seus limites de área). Assim, esse geo-objeto evolui para uma área pública e depois é dividido em dois novos geo-objetos, usando as operações atômicas `evolve` e `splinter`; sendo um do tipo área pública de uso “desapropriação” e a geometria que será incorporada a via e, outro do tipo área pública de uso “remanescente”, a qual terá seu uso definido futuramente;
- 2) o geo-objeto continua existindo mas é dividido e sua geometria é a diferença das geometrias. Um novo geo-objeto é criado do tipo área pública de uso “desapropriação” com a área que será incorporada à via.

Finalmente, os geo-objetos contidos na área de expansão são juntados à via, um a um, resultando na via alargada, com a operação atômica `join`.

```
streetExpansion activityProject      -- Dados os dados do projeto da
street geometry objects =          atividade (activityProject), a
                                     geometria de expansão (geometry),
                                     a via ((street) e os geo-objetos
                                     envolvidos (objects)

  register                          - registra a atividade
  completes <- inside geometry      -- identifica os objetos com área
objects                             totalmente contida
  parts <- partially geometry        -- identifica os objetos com área
objects                             parcialmente contida na área de
                                     expansão
  splintereds <- map (splinterEvolve -- para cada objeto parcialemnte
geometry) parts                     contido na área de expansão:
                                     aplica a função splinterEvolve
                                     (aplica a operação atômica evolve
                                     (para o tipo de objeto publicArea)
                                     e depois divide o objeto com a
                                     operação splinter)
  expansion <- map (join street)     -- Para todos os objetos contidos na
(completes ++ splintereds)          área de expansão faz um join com a
                                     via e retorna os geo-objetos
                                     resultantes do alargamento da via

  return (expansion)
```

A atividade *alargamento de via* do projeto “Duplicação da Av. Antônio Carlos”. faz o alargamento da Avenida S1 com a área dos lotes P2, P4 e P6, seguindo os passos apresentados na Figura 5.9 e resultando na via expandida S1, no lote P4 e na área pública remanescente PA8h.

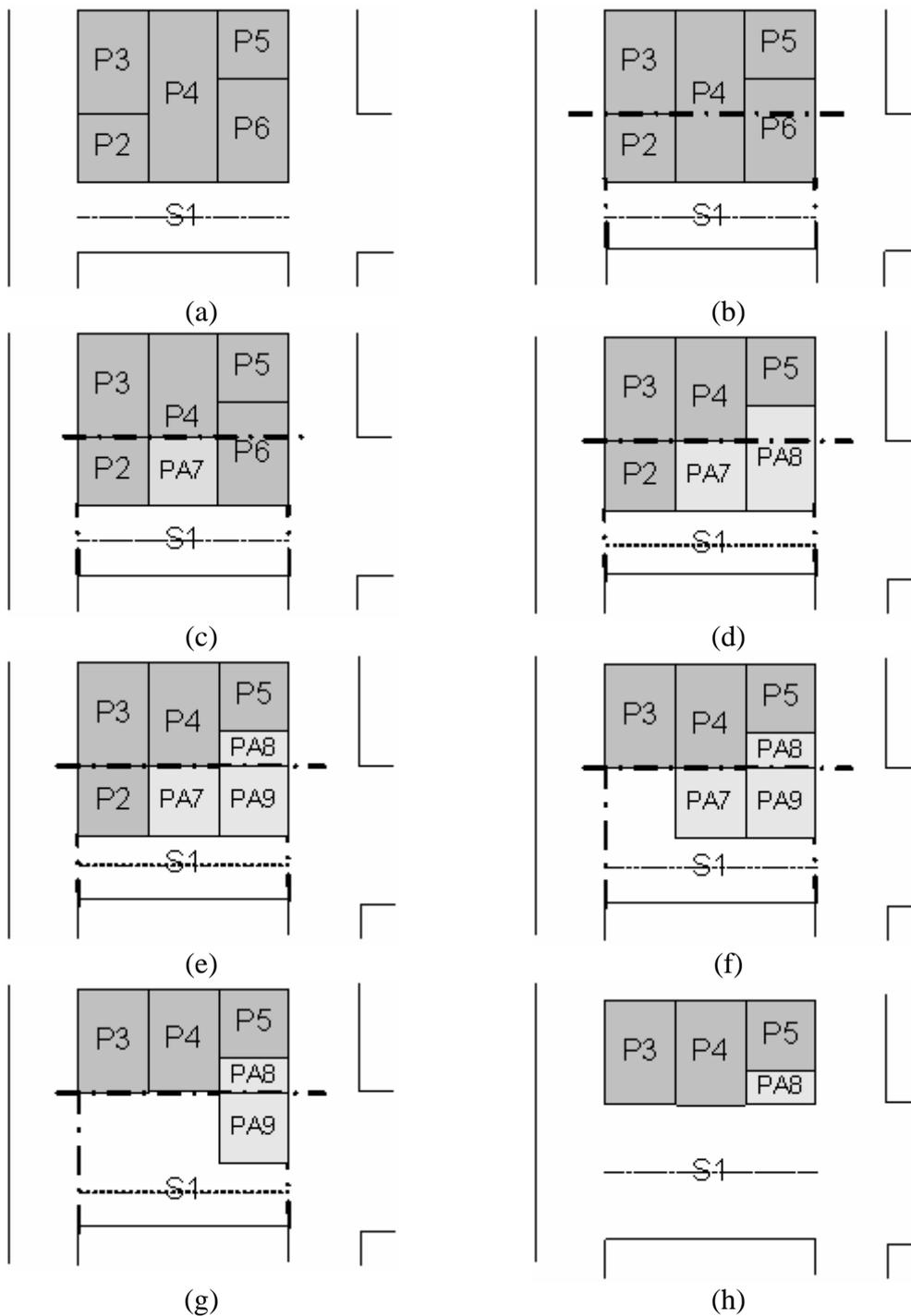


Figura 5.9 – Atividade *alargamento de via* do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos".

O histórico da atividade *alargamento de via* do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos" é apresentado na Figura 5.10.

```

* Activity Alargamento de via, applied to object(s) 1, 2, 4 and 6, resulting
object(s) 1, 4 and 8, executed by Marcos as a part of plan Duplicacao da Av.
Antonio Carlos. It started in 2003-06-05 and finished at 2007-08-02. This
activity was executed with the following atomic operations:
  * Splinter, applied to object(s) 4, resulting object(s) 4 and 7, with the
following basic operations:
    * Assign Geometry in object 4.
    * Create in object 7.
    * Assign Attributes to PublicArea with usage "Desapropriação" in
object 7.
    * Assign Geometry in object 7.
  * Evolve, applied to object(s) 6, resulting object(s) 8, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 6.
    * Create in object 8.
    * Assign Attributes to PublicArea with usage "Remanescente" in object
8.
    * Assign Geometry in object 8.
  * Splinter, applied to object(s) 8, resulting object(s) 8 and 9, with the
following basic operations:
    * Assign Geometry in object 8.
    * Create in object 9.
    * Assign Attributes to PublicArea with usage "Desapropriação" in
object 9.
    * Assign Geometry in object 9.
  * Join, applied to object(s) 1 and 2, resulting object(s) 1, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 2.
    * Assign Geometry in object 1.
  * Join, applied to object(s) 1 and 7, resulting object(s) 1, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 7.
    * Assign Geometry in object 1.
  * Join, applied to object(s) 1 and 9, resulting object(s) 1, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 9.
    * Assign Geometry in object 1.

```

Figura 5.10 – Descrição da história da atividade *alargamento de via* do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos"

A seguir, a atividade de *alargamento de via* da visão legal é apresentada para ilustrar a diferença da semântica dessa visão. Nesse caso, é necessária a definição da atividade desapropriação, que é precedente à atividade de *alargamento de via* na rede do plano de projeto.

5.3.3.1 Atividade desapropriação

A atividade *desapropriação* corresponde, conforme Garparini (1989), ao "*procedimento administrativo pelo qual o Estado compulsoriamente retira de alguém certo bem por necessidade ou utilidade ou por interesse social e o adquire, originariamente, para si ou para outrem mediante prévia e justa indenização, paga em dinheiro, salvo os casos*

que a própria constituição em mera". É uma área que passou por um processo judicial de desapropriação para implantação (criação) de um bem público, como por exemplo, a faixa de domínio de via de tráfego pública (mêtro, ferrovia ou rodovia), uma escola ou um posto de saúde.

Essa atividade é definida por ser necessário a sua explicitação na história de mudança do cadastro urbano da visão legal. Ela aplica as operações atômicas `splinter`, `evolve` e `join`. Ela segue os passos 1 e 2 da atividade alargamento de via, acrescido do passo 3, que evolui o geo-objeto com área totalmente contida para uma área pública e depois faz a junção com as áreas públicas contidas, operação `join`. Assim, todos os geo-objetos que serão juntados para formar a área desapropriada, igual à geometria de desapropriação informada, se tornaram, gradativamente, área pública. Dessa forma a descrição da história detalha os lotes que foram desapropriados juntos.

```
desappropriation geometry objects = -- Dados os dados do projeto da
  register                          -- atividade (activityProject), a
  completes <- inside geometry      -- geometria de expansão (geometry),
  objects                            -- a via ((street) e os geo-objetos
  parts <- partially geometry        -- envolvidos (objects)
  objects                            -- registra a atividade
  splintereds <- map (splinterEvolve -- identifica os objetos com área
  geometry) parts                   -- totalmente contida
  toEvolve <- head (completes ++     -- identifica os objetos com área
  splintereds)                      -- parcialmente contida na área de
  toJoin <- tail (completes ++       -- expansão
  splintereds)                      -- para cada objeto parciaismente
  evolved <- evolve toEvolve        -- contido na área de expansão:
  publicArea                        -- aplica a função splinterEvolve
  map (join evolved) toJoin         -- aplica a operação atômica evolve
                                    -- (para o tipo de objeto publicArea)
                                    -- e depois divide o objeto com a
                                    -- operação splinter)
                                    -- Para todos os objetos contidos na
                                    -- área de expansão faz um join com a
                                    -- via e retorna os geo-objetos
                                    -- resultantes do alargamento da via
```

A Figura 5.11 ilustra os passos da atividade *desapropriação* para o projeto de “Duplicação da Av. Antônio Carlos”. Ela cria a área desapropriada PA10 com a área dos lotes P2, P4 e P6, resultando no lote P4 e nas áreas públicas PA10 e PA8.

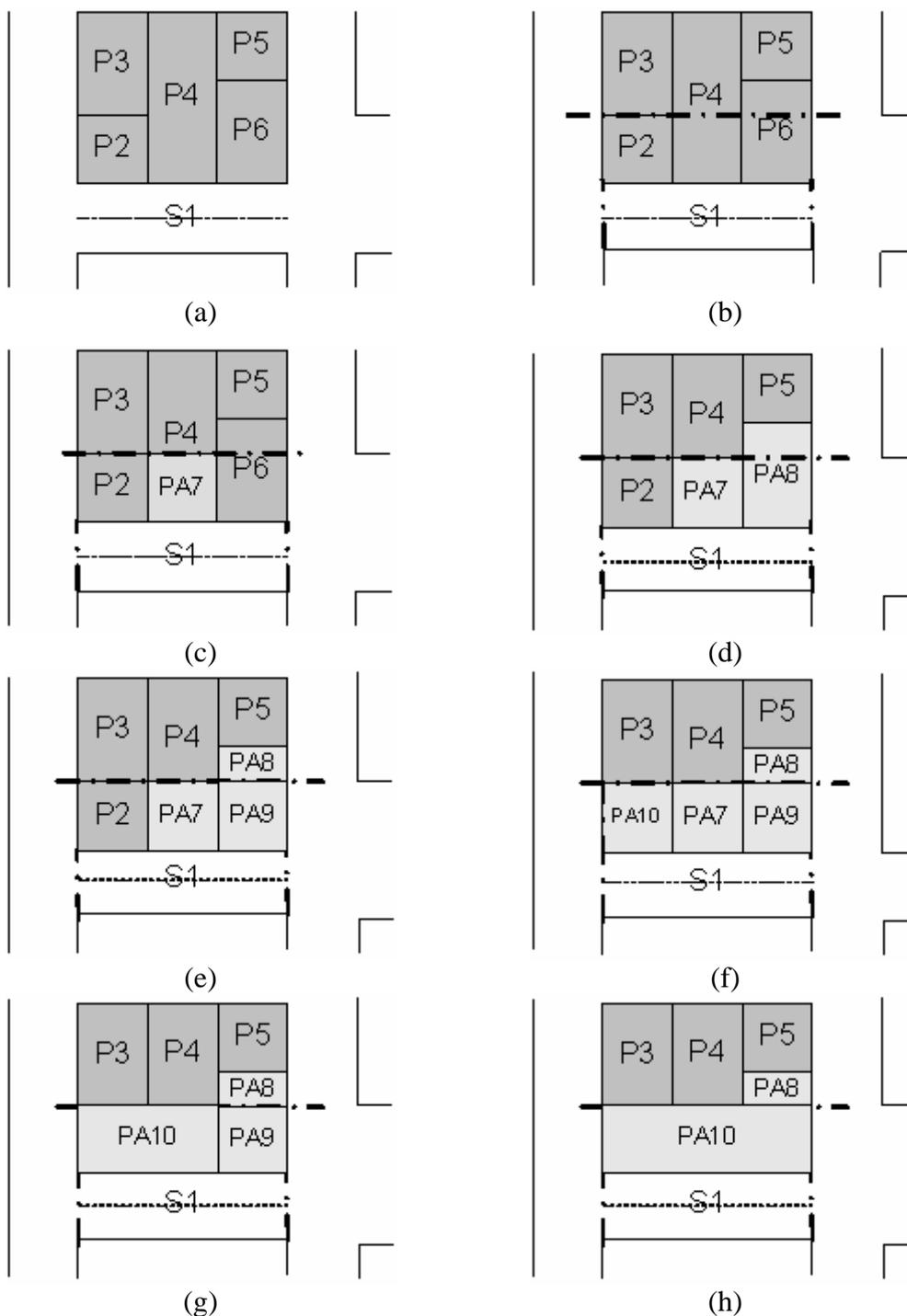


Figura 5.11 – Atividade *desapropriação* do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos".

A Figura 5.12 apresenta a história de desapropriação do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos".

```

* Activity Desapropriação, applied to object(s) 1, 2, 4 and 6, resulting
object(s) 4, 8 and 10, executed by Marcos as a part of plan Duplicação da Av.
Antonio Carlos. It started in 2003-06-05 and finished at 2007-08-02. This
activity was executed with the following atomic operations:
  * Splinter, applied to object(s) 4, resulting object(s) 4 and 7, with the
following basic operations:
    * Assign Geometry in object 4.
    * Create in object 7.
    * Assign Attributes to PublicArea with usage "Público" in object 7.
    * Assign Geometry in object 7.
  * Evolve, applied to object(s) 6, resulting object(s) 8, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 6.
    * Create in object 8.
    * Assign Attributes to PublicArea with usage "Remanescente" in object
8.
    * Assign Geometry in object 8.
  * Splinter, applied to object(s) 8, resulting object(s) 8 and 9, with the
following basic operations:
    * Assign Geometry in object 8.
    * Create in object 9.
    * Assign Attributes to PublicArea with usage "Público" in object 9.
    * Assign Geometry in object 9.
  * Evolve, applied to object(s) 1, resulting object(s) 10, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 1.
    * Create in object 10.
    * Assign Attributes to PublicArea with usage "Público" in object 10.
    * Assign Geometry in object 10.
  * Join, applied to object(s) 2 and 10, resulting object(s) 10, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 2.
    * Assign Geometry in object 10.
  * Join, applied to object(s) 7 and 10, resulting object(s) 10, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 7.
    * Assign Geometry in object 10.
  * Join, applied to object(s) 9 and 10, resulting object(s) 10, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 9.
    * Assign Geometry in object 10.

```

Figura 5.12 – Descrição da história da atividade *desapropriação* do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos"

Uma atividade de *alargamento de via* na visão legal, Figura 5.13, recebe uma área pública e junta a via, utilizando somente a operação atômica e tendo como precedente a atividade *desapropriação*. A atividade *alargamento de via* da visão CTM corresponde às atividades *desapropriação* e *alargamento de via* da visão legal, cujas histórias resultantes são diferentes.

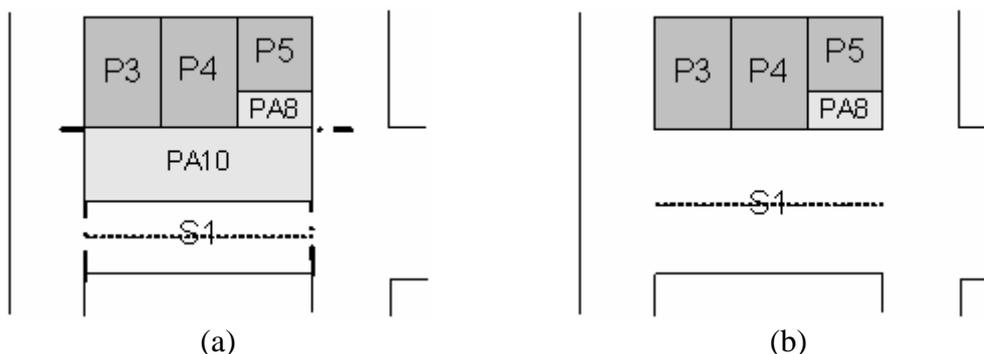


Figura 5.13 – Atividade *alargamento de via* da visão *legal* da cidade.

5.3.4 Atividade *modificação de parcelamento*

A atividade *modificação de parcelamento* realiza uma subdivisão de área com o objetivo de reestruturar o parcelamento do solo. Neste caso é importante registrar os objetos que foram destruídos e os que foram criados e, não é relevante saber, qual área de geo-objeto originou os novos geo-objetos. Para isso, as operações atômicas executadas são `destroy` e `create`. Esse é um exemplo de atividade na qual a relevância do registro da história é praticamente das operações básicas. Essa atividade corresponde à operação de identidade `restruct`. A atividade recebe os geo-objetos (`object1`) da área que será modificada e os novos geo-objetos (`objects2`) que vão compor a mesma área. Nesse caso, a área total dos geo-objetos de entrada e dos geo-objetos de saída são coincidentes.

```
restruct objects1 objects2 =
  do
    register
    map destroy (inside objects1
objects2)
    news <- map create objects2
  return news
-- Dados os dados do projeto da
atividade (activityProject),
os objeto da área que será
modificada (objects1) e os que
serão criados, resultantes
(objects2)
-- registra a atividade
-- para cada objeto origem
(object1) contido na área
total a ser modificada (área
total (inside) de
objects2)aplica a operação
atomica destroy.
-- para cada objeto
resultante(object2) aplica a
operação atomica create
-- Retorna os objetos criados
```

A Figura 5.14 apresenta a atividade *modificação de parcelamento* do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos". Ela mostra os geo-objetos informados, a via S1, a área pública PA8 e os lotes P3, P4 e P5. Esses geo-objetos são destruídos e cinco novos geo-objetos são criados, na mesma área dos geo-objetos destruídos, assim como, a via S10 e os lotes P11, P12, P13 e P14.

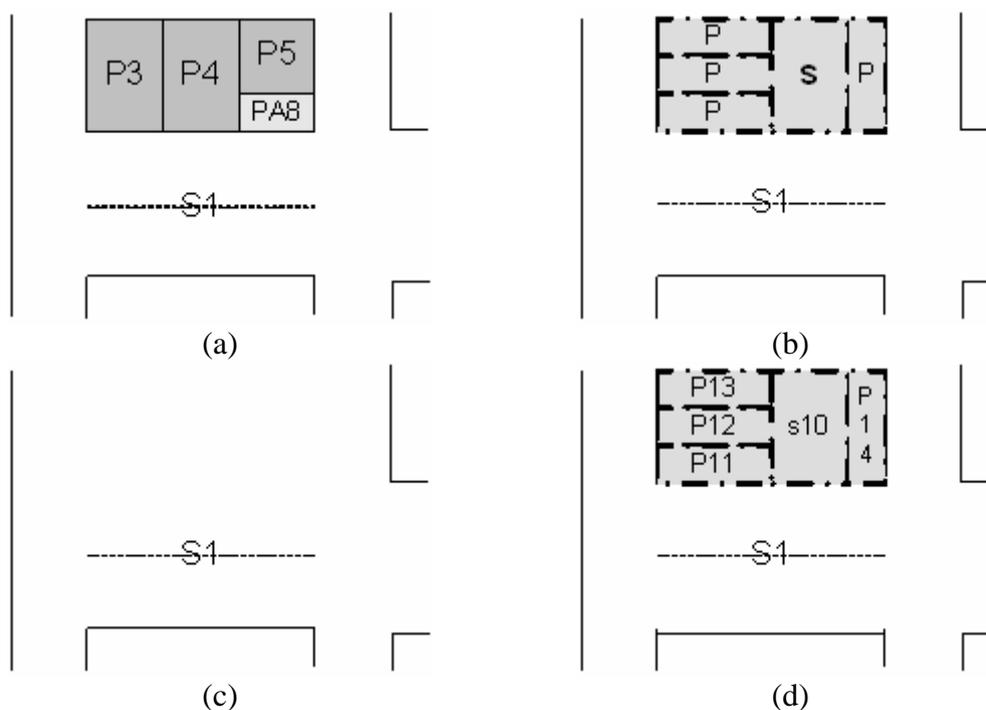


Figura 5.14 – Atividade *modificação de parcelamento* do projeto "duplicação da Av. Antônio Carlos".

A descrição da história da atividade *modificação de parcelamento* do projeto "duplicação da Av. Antônio Carlos" é apresentada na Figura 5.15.

```

*Activity Modificacao de parcelamento, applied to object(s) 3, 4, 5
and 8, resulting object(s) 10, 11, 12, 13 and 14, executed by Marcos
as a part of plan Duplicacao da Av. Antonio Carlos. It started in
2007-08-07 and finished at 2009-10-10. This activity was executed with
the following atomic operations:
  * Destroy, applied to object(s) 3, with the following basic
operations:
    * Destroy in object 3.
  * Destroy, applied to object(s) 4, with the following basic
operations:
    * Destroy in object 4.
  * Destroy, applied to object(s) 5, with the following basic
operations:
    * Destroy in object 5.
  * Destroy, applied to object(s) 8, with the following basic
operations:
    * Destroy in object 8.
  * Create, resulting object(s) 10, with the following basic
operations:
    * Create in object 10.
    * Assign Attributes to Street with name "Rua das flores",
domain "Public", type Secondary in object 10.
    * Assign Geometry in object 10.
  * Create, resulting object(s) 11, with the following basic
operations:
    * Create in object 11.
    * Assign Attributes to Parcel with owner "Catarina", domain
"Private", usage "Residencial" in object 11.
    * Assign Geometry in object 11.
  * Create, resulting object(s) 12, with the following basic
operations:
    * Create in object 12.
    * Assign Attributes to Parcel with owner "Paulo", domain
"Private", usage "Residencial" in object 12.
    * Assign Geometry in object 12.
  * Create, resulting object(s) 13, with the following basic
operations:
    * Create in object 13.
    * Assign Attributes to Parcel with owner "Jorge", domain
"Private", usage "Residencial" in object 13.
    * Assign Geometry in object 13.
  * Create, resulting object(s) 14, with the following basic
operations:
    * Create in object 14.
    * Assign Attributes to Parcel with owner "Julia", domain
"Private", usage "Residencial" in object 14.
    * Assign Geometry in object 14.

```

Figura 5.15 – Descrição da história da atividade *modificação de parcelamento sem história* do projeto "duplicação da Av. Antônio Carlos".

5.4 Questões das mudanças incrementais dos exemplos

Uma descrição completa de cada atividade foi demonstrada. Essa descrição detalhou as informações do plano de ação do projeto, as operações atômicas, as operações básicas e,

para cada uma destas, os geo-objetos envolvidos. Nessa descrição estão as respostas das questões fundamentais de mudança incremental, seguindo o modelo proposto apresentado na Tabela 4.4. A Tabela 5.5 apresenta as respostas de cada uma dessas questões, para a atividade *alargamento de via* do projeto “Duplicação da Av. Antônio Carlos” .

Tabela 5.5 – Respostas às questões fundamentais da atividade *alargamento de via* do projeto "duplicação da Av. Antônio Carlos".

| Questões | Exemplo |
|---|---|
| <i>Porque</i> ocorreu a mudança? | "Duplicação da Av. Antônio Carlos". |
| <i>Qual</i> mudança ocorreu? | <i>alargamento da via</i> |
| <i>Onde</i> ocorreu a mudança? | P1, P2, P4 e P6 |
| <i>Quem</i> foi o responsável pela mudança? | "Marcos" |
| <i>Como</i> a mudança foi realizada? | <p>* Activity Alargamento de via, applied to object(s) 1, 2, 4 and 6, resulting object(s) 1, 4 and 8, executed by Marcos as a part of plan Duplicacao da Av. Antonio Carlos. It started in 2003-06-05 and finished at 2007-08-02. This activity was executed with the following atomic operations:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Splinter, applied to object(s) 4, resulting object(s) 4 and 7, with the following basic operations: <ul style="list-style-type: none"> * Assign Geometry in object 4. * Create in object 7. * Assign Attributes to PublicArea with usage "Desapropriação" in object 7. <p>.... (continua, conforme Tabela ta...)</p> |
| <i>Quando</i> a mudança ocorreu? | It started in 2003-06-05 and finished at 2007-08-02 |
| <i>O que</i> mudou (objetos resultantes e suas propriedades)? | <ul style="list-style-type: none"> * Assign Geometry in object 4. * Create in object 7. * Assign Attributes to PublicArea with usage "Desapropriação" in object 7. * Assign Geometry in object 7. * Destroy in object 6. * Create in object 8. * Assign Attributes to PublicArea with usage "Remanescente" in object 8. * Assign Geometry in object 8. * Assign Geometry in object 8. * Create in object 9. * Assign Attributes to PublicArea with usage "Desapropriação" in object 9. * Assign Geometry in object 9. * Destroy in object 2. * Assign Geometry in object 1. * Destroy in object 7. * Assign Geometry in object 1. * Destroy in object 9. * Assign Geometry in object 1. |

A seguir, são apresentadas outras questões de mudança incremental:

1) Porque o objeto P6 foi destruído?

Essa é uma questão cuja resposta está associada à atividade que executou determinada operação básica. Nesse caso a pergunta é “Qual atividade executou a operação básica “destroyObject” no geo-objeto Parcel6?”. Para isso, verifica-se o modelo da operação básica correspondente, `model = “destroyObject”`, e cujo objeto envolvido seja o “6”. A resposta desta pergunta é a descrição da atividade que executou essa operação básica. Nesse caso a atividade é a de *alargamento de via* do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos", cuja descrição está na Figura 5.10.

2) Quais os objetos deixaram de existir no ano de 1995?

A consulta realizada aqui é a mesma da questão anterior, só que o modelo da operação é fixado em “destroyObject” e o intervalo de ocorrência da atividade (`interval`) é definido, de 1/1/1995 a 31/12/1995. O geo-objeto obtido foi o lote “0” (lote P0) da Figura 5.8.

3) Quais os objetos deram origem ao objeto S1?

Essa é uma pergunta que envolve o *link* de geo-objetos predecessores ou origem de um geo-objeto. Nesse caso, recupera-se as operações atômicas que possuem esse geo-objeto no parâmetro de saída, e para cada uma destas recuperam-se os objetos do parâmetro de entrada. A proposta do modelo é a de fazer esse link com as informações das operações que promovem as mudanças e não somente entre objetos. Dessa forma, a resposta dessa questão são os objetos P2, PA7 e PA9.

4) Qual a história do lote P4 ?

Essa questão é o mesmo que perguntar *quais* as mudanças que ocorreram nas características do geo-objeto e *quando* elas ocorreram. A resposta mais completa desta questão é a descrição de cada atividade em que o geo-objeto tenha participado como geo-objeto origem ou destino. Ela corresponde à

descrição da história dessas atividades. Para obter essa resposta recupera-se todas as atividades que chamaram operações básicas cujo objeto envolvido é o geo-objeto informado. Assim, com a descrição dessas atividades não se limita somente à descrição das operações básicas executadas no geo-objeto. Ela fica completa e coerente com a proposta desta pesquisa, pois descreve: (a) as atividades e geo-objetos envolvidos na mesma mudança, com as informações de tempo e motivo relacionados ao plano do projeto; (b) as operações atômicas realizadas, que contextualizam o tipo de mudança conforme o domínio; e (c) as operações básicas em que o geo-objeto realmente foi modificado, com os detalhes dessas modificações. A descrição da história do lote P4 é a junção das histórias completas das atividades *reparcelamento de lote*, *alargamento de via* e *modificação de parcelamento*. Essa história, então, é a união das histórias descritas nas Figura 5.4, Figura 5.10 e Figura 5.15.

Várias outras perguntas podem ser respondidas com os dados do registro das atividades, tais como: “Quais são os objetos envolvidos no projeto *Duplicação da Av. Antônio Carlos?*”, “Quais objetos possuíam existência entre os anos de 1995 à 2007?” e “Quais objetos participaram das mesmas atividades?”. Alguns detalhes de valores dos atributos do geo-objetos, como os geo-objetos que ocuparam a mesma região, ou os objetos que possuem o mesmo valor de atributo, podem ser perguntados. Neste caso, têm-se perguntas, como “Quais áreas públicas têm tipo de uso, *remanescente?*” e “Quais objetos já ocuparam a região correspondente ao lote P0. As respostas a essas questões são obtidas consultando-se as operações básicas `assignGeometry` e `assignAttributes` com o atributo informado. Também, podem-se fazer questões temporais, como *quais* as atividades que ocorreram em um determinado período de tempo ou tipos de operações básicas ou operações atômicas ocorridas por período. Para isso, é necessário somente recuperar o período da atividade e, dessa forma, obtém-se a data de ocorrência das operações.

5.5 Conclusão

Este Capítulo ilustra como o modelo de atividades pode ser definido para visões diferentes da realidade e com distintas semânticas, associada à descrição histórica necessária. A definição das atividades é facilitada pela disponibilidade de operações atômicas, além de permitir o seu reuso. O registro das atividades de acordo com o modelo de mudança incremental proposto possibilita a descrição detalhada das mudanças e, também, permite uma flexibilidade na recuperação da história de mudanças incrementais com diferentes níveis de detalhe. Esses detalhes estão associados as informações relativas ao plano do projeto, as operações atômicas e as operações básicas, da mesma forma, estão relacionadas às mudanças nas propriedades dos objetos, além do motivo da mudança, e ao *link* de objetos que participam dessas mesmas mudanças.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O problema abordado nesta tese está na dificuldade de representar e modelar a dinâmica espacial da realidade social. Essa realidade é complexa e dependente da cognição humana, sendo que, geralmente, está relacionada a tarefas ou atividades pré-definidas. As mudanças da realidade social são *incrementais*, por permanecerem estáveis até uma nova ocorrência de mudança. Ela é dependente do domínio de aplicação e precisa ser representada no SIG o mais fielmente possível. Os sistemas de informação precisam responder questões espaciais e temporais relacionadas às mudanças incrementais, tais como: “*porque*”, “*onde*”, “*qual*” e “*quando*” a mudança ocorreu; “*quem*” foi o responsável pela sua execução; e “*quando*” ela foi realizada, além de “*o que*” mudou (objetos resultantes e suas propriedades).

Estudos relacionados na literatura apresentam diferentes ontologias e modelos espaço-temporais, como: as propostas de operações de identidade para modelar a vida e evolução de geo-objetos através de *links* entre objetos, a necessidade de modelar atividades e eventos mais próximos de como eles são realizados no SIG e de adotar versões de documentos distintos para registrar as questões fundamentais sobre as mudanças. Essas propostas se mostram insuficientes para prover uma definição da atividade próxima da semântica de sua execução, percebida pelo agente de mudança do domínio de aplicação.

A contribuição desta tese, na área de pesquisa de geoinformação, consta em minimizar a lacuna entre como as mudanças são promovidas pelas aplicações de SIG, e como o seu registro no banco de dados possibilita a recuperação de uma história mais próxima da realidade em que foi gerada. Para isso, foi elaborado um modelo de mudança incremental baseado numa hierarquia de operações básicas, operações atômicas e atividades. A complexidade da mudança é construída através de uma estratégia *bottom-up*, onde operações de vida de um objeto são compostas em operações atômicas do domínio de aplicação, que compostas, descrevem a semântica de uma atividade. Uma rede de atividades determina a semântica de mudanças complexas, conforme a realidade

representada. Foi apresentada uma metodologia para a modelagem de mudança incremental para registrar informações fundamentais sobre essas mudanças.

As hipóteses de trabalho adotadas para a tese foram comprovadas, pois baseado nos conceitos e modelo adotados, houve a definição de operações para a realidade social do cadastro urbano de Belo Horizonte, e a implementação de um protótipo conforme o modelo de mudança incremental proposto. Isso possibilitou a definição e registro de ocorrências das atividades. Os resultados obtidos, por meio de exemplos de rede das atividades de projetos do cadastro urbano, permitiram avaliar a metodologia proposta, bem como, a definição de atividades padrões através da composição das operações atômicas, compostas por operações básicas. Esse experimento mostrou que a modelagem de mudança incremental proposta é capaz de prover uma descrição histórica que contextualiza como cada atividade foi promovida, por qual motivo e como cada geo-objeto foi modificado. Isso também facilitou a construção da semântica de atividades, através da composição de operações atômicas que promovem mudanças elementares do domínio de aplicação e, portanto, de mais fácil assimilação pelos agentes de mudanças. Foi facilitada a definição da rede de mudança incremental dos projetos que foram definidos por um conjunto de atividades padrão, ou seja, as atividades definidas no modelo.

6.1 Trabalhos futuros

A partir dos avanços na modelagem de mudanças incrementais alcançados nesta tese identificam-se possibilidades de pesquisas na área de geoinformação e geoinformática.

Uma decorrência deste estudo é a possibilidade da construção de ontologias de mudanças incrementais que considerem os termos e conceitos associados à hierarquia de operações proposta. Assim, considerando-se a semântica do domínio de aplicação, que possa ser adotada na interface dessas aplicações e no registro da história de geo-objetos..

A construção de ontologias das atividades para o cadastro urbano, gera a avaliação mais ampla da aplicação do modelo de mudança incremental desse domínio. Essas ontologias

são a base das aplicações que, sendo especializadas, podem ser adotadas nas diversas realidades dos municípios brasileiros.

Uma avaliação prática da proposta no domínio de aplicação do cadastro urbano, que estabeleça um conjunto consistente e suficiente de atividades e operações atômicas necessárias para essa realidade. Assim, pode possibilitar um estudo mais detalhado da implantação do modelo de mudanças incrementais, os seus impactos e desafios.

O desenvolvimento de um arcabouço para o modelo de mudanças incrementais proposto, que possa ser incorporado no SIG. Ele deve possibilitar o uso de ontologias, considerando a hierarquia de operações de mudanças. Esse arcabouço deve prover um mecanismo que permita que as atividades sejam definidas pela composição de operações atômicas, e que estas registrem as mudanças conforme o modelo.

Os conceitos e a semântica das atividades podem se modificar ao longo do tempo. É interessante que as atividades sejam promovidas com os modelos vigentes, e suas histórias sejam recuperadas com os mesmos modelos de operações utilizados na sua execução. Dessa maneira, é necessário que o modelo de mudança incremental seja temporal e que através de um mecanismo de versões as operações possam, de forma ativa, ser executadas ou recuperadas com a versão correspondente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRE, P.E., CHAPMAN, D. **What are plans for?** , Cambridge, MA.: MIT CSIAL. 1989. (Report AIM-1050A).
- ALLEN, J. F. Maintaining knowledge about temporal intervals. **Communications of the ACM**, v. 26, n.11, p. 832-843, 1983.
- ALLEN, J. F.. Towards a general theory of action and time. **Journal Artificial Intelligence**, v.3, p.123-154.
- AL-TAHA, K. Identities through time. In: FRANK, A. U.; RAPER, J. ; CHEYLAN, J.(eds.). **Life and motion of socio-economic units**. London: Taylor & Francis, 2001.
- AL-TAHA, K; BARRERA, R. Identities through time. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON REQUIREMENTS FOR INTEGRATED GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, 2004, New Orleans, Louisiana **Workshop...1994**, p. 1-12
- AMAREL, S. On representations of problems of reasoning about actions. In: MITCHIE, D. (ed.): **Machine intelligence 3**. Amsterdan: Elsevier/North-Holland, 1968, p.131-171.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas – aplicações na agricultura**. 2 ed. Brasília: Editora Embrapa,1998. 434 p.
- BITTNER, S. **An agent-based model of reality in a cadastre**. PhD Thesis.(Doctor of Technical Sciences)-Vienna: Technical University Vienna, 2001.
- BURROUGH, P. Dynamic Modelling and Geocomputation. In: LONGLEY, P.; BROOKS, S.; MCDONNELL, R.; MACMILLAN, B. (eds.) **Geocomputation: a primer**. New York: John Wiley. 1998.
- CÂMARA, G . Representação computacional de dados geográficos. In: CASANOVA, M. A.; CÂMARA, G.; DAVIS JR., C. A.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. (eds.). **Bancos de dados geográficos**. Curitiba: MundoGeo, 2005. cap.1, p. 11–52.
- CÂMARA, G;EGENHOFER, M.;FONSECA, F.;MONTEIRO, A. M. What´s In An Image?. Nome **da Conferencia** Spatial Information Theory: Foundations of Geographic Information Science. International Conference, COSIT 2001. Volume Lecture Notes on Computer Science, Publisher Springer Santa Barbara, CA.: Dan Montello,p. 474-487, 2001
- CASTELLS, M. **A sociedade em rede**. São Paulo: Paz e Terra, 1999.
- CHEYLAN, J.. Time, actuality, novelty and history. In: FRANK, A. U.; RAPER, J. ; CHEYLAN, J. (eds.) **Life and motion of socio-economic units**, London: Taylor & Francis, 2001.

CHU, W. W.; IEONG, I. T.; TAIRA, R. K.; BREANT, C. M. A temporal evolutionary object-oriented data model for medical image management. In: ANNUAL IEEE , 5. , SYMPOSIUM ON COMPUTER-BASED MEDICAL SYSTEMS,5., 1992, Durham, North Carolina. **Proceedings...** Local de edição: editora,1992.

CLIFFORD, J.; CROKER, A. Objects in time. **Database Engineering**, v.7, n.4, p.189-196. 1988.

COUCLELIS, H. Cellular worlds: a framework for modeling micro-macro dynamics. **Environment and Planning A**, v. 17, n. , p. 585-596, 1985.

COUCLELIS, H.. From cellular automata to urban models: new principles for model development and Implementation. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v.24, p.165-174, 1997.

DALE, P .F; McLAUGHLIN, J. **Land Information Management, An introduction with special reference to cadastral systems in Third World countries** . Oxford: Oxford University Press,1989.

DIAS, T. L.; CÂMARA, G.; DAVIS JR., C. A. Modelos espaço-temporais. In: CASANOVA, M. A.; CÂMARA, G.; DAVIS JR., C. A.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. (eds.). **Bancos de dados geográficos**. Curitiba, PR: MundoGEO, 2005. Cap. 4 p. 147- 179.

DIAS, T.; CAMARA, G.; FONSECA, F.; DAVIS, C. Bottom-up development of process-based ontologies. In: GIScience 2004, 2004, Massachuseter: MA **Proceedings...** Massachuseter: AAG, 2004. Editor Max Egenhofer,Christian Freska, Harvey Miller.

EDELWEISS, N.; OLIVEIRA, J. P. M. **Modelagem de aspectos temporais de sistemas de informação**. Recife: UFPE-DI, 1994.

EGENHOFER, M. J.; FRANK, A. Object-Oriented Modeling for GIS. **Journal of the Urban and Regional Information Systems Association International**, v. 4, n.2, p. 3-19, 1992.

EGENHOFER, M. J.; FRANZOSA, R. Point-set topological spatial relations. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 5, n.2, p. 161-174, 1991.

EGENHOFER, M.; DI FELICE, P.; CLEMENTINI, E. Topological relations between regions with holes. **International Journal of Geographical Information Systems**. v.8, n.2, p.129-144, 1994.

EGENHOFER, M.; GLASGOW, J.; GÜNTHER, O.; HERRING, J.; PEUQUET, D. Progress in Computational Methods for Representing Geographical Concepts. **International Journal of Geographical Information Science**, v.13, n. 8, p. 775-796, 1999.

Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL). **Manual de quadras**. Belo Horizonte, jul 1999. Documento Interno.

Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL). **Manual de compatibilização de lotes**. Belo Horizonte, ago 2001. Documento Interno.

FONSECA, ENGENHOFER; FONSECA, F. ; EGENHOFER, M. Ontology-driven geographic information systems. In: ACM SYMPOSIUM ON ADVANCES IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, 7., 1999, Kansas City, MO. **Proceedings...**Kansas: ACM, 1999, p. 14-19. (MEDEIROS, C. B. (ed.).

FONSECA, F. **Ontology-Driven Geographic Information Systems**. Ph.D. Thesis at the University of Maine. Oronto. Dept of Spatial Information Science and Engineering, 2001.

FONSECA, F.; DAVIS, C.; CAMARA, G. Bridging ontologies and conceptual schemas in geographic applications development. **Geoinformatica**, v.7, n. 4, p. 355-378, 2003.

FONSECA, F.; EGENHOFER, M.; AGOURIS, P.; CÂMARA, G. Using ontologies for integrated geographic information systems. **Transactions in GIS**, v. 6, n.3, p. 231-257, 2002.

FONSECA, F; MARTIN, J. Play as the Way out of the Newspeak-Tower of Babel Dilemma in Data Modeling. in: McLean, E. and Monod, E., (Eds.), , The 26th **International Conference on Information Systems**, Las Vegas, pp. 11-20, 2005.

FONSECA, F; Martin, J.. Learning the Differences Between Ontologies and Conceptual Schemas Through Ontology-Driven Information Systems. **JAIS - Journal of the Association for Information Systems** - Special Issue on Ontologies in the Context of IS 8(2): 129-142, 2007.

FRANK A. U. Spatial ontology: a geographical information point of view. In: STOCK, O. (ed.). **Spatial and temporal reasoning**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers,1997, p. 135–153.

FRANK, A. **Different types of time**. In: EGENHOFER. M.; R. GOLLEDGE (eds): **Spatial and temporal reasoning in geographic information systems**. New York, NY: Oxford University Press. 1998, p. 40-61.

FRANK, A. **Data structures for land information systems**-semantical, topological, and spatial relations in data of geo-sciences (in German). Zurich, Switzerland: Swiss Federal Institute of Technology, 1993.

FRANK, A. One Step up the Abstraction Ladder: Combining Algebras - From Functional Pieces to a Whole. **COSIT - Conference on Spatial Information Theory**, Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag. (1999).

FRANK, A. Ontology for spatio-temporal databases. In: KOUBARAKIS, M.; SELIS, T. (eds.). **Spatio-temporal databases: the chorochronos approach**. Berlin: Springer-Verlag,. 2003, p. 9-78. (Lecture Notes in Computer Science).

FRANK, A.; KUHN, W. Specifying open GIS with functional languages. In: **ADVANCES IN SPATIAL DATABASES-INTERNATIONAL SYMPOSIUM, SSD '95**, 4., 1995, Portland, ME. **Proceedings...** Portland: Editor M. Egenhofer, J. Herring. Berlin: Springer-Verlag, p. 184-195. Lecture Notes in Computer Science. 1995.

FRANK, A.; WINTER, S. Frank, A.U.; Winter, S. First Chorochronos Intensive Workshop CIW 97". **Chorochronos Technical Reports**., Editora Sellis, T., Carnuntum, Austria.. 1997

FRANK, A.U., RAPER, J., CHEYLAN, J. **Life and motion of socio-economic units.**, London: Taylor & Francis,. 2001. 353 p. (ESF Series).

GAHEGAN, M. Characterizing the semantic content of geographic data, models, and systems. interoperating geographic information systems. In: GOODCHILD, M.; EGENHOFER, M.; FEGEAS, R.; KOTTMAN. C. Norwell, MA: Kluwer Academic, 1999, p. 71-84.

GASPARINI, D. **Direito administrativo**. São Paulo: Ed. Saraiva, 1989.

GOODCHILD, M. Geographical data modeling. **Computers and Geosciences**, v.18, n .4 , p. 401-408, 1992.

GRENON, P.; SMITH, B. SNAP and SPAN: towards dynamic spatial ontology. **Spatial Cognition and Computation**, v.4, n.1, p.69-104. 2003.

GRUBER, T.R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge. **Int. Journal of Human-Computer Studies Sharing**. v. 43, p.907-928, 1995

GUARINO, N. Formal ontology and information systems. In: N. Guarino, editor, *Formal*. Amsterdam, The Netherlands . Publisher IOS Press. 1998p. 3-15

GUARINO, N. Some organizing principles for a unified top-level ontology. In: **AAAI Spring Symposium on Ontological Engineering**. LADSEB-CMR Int. Report 02/97. 1997.

HELDMAN K. **Project management** – jumpStart. Ed. Sybex Inc.,2005.

HORNSBY, K.; EGENHOFER, M. J. Identity-based change operations for composite objects. In: **INTERNAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING**, 8., 1998, Vancouver. **Proceedings...** Vancouver. 1998. POIKER, T. K.; CHRISMAN, N. (eds).

HORNSBY, K.; EGENHOFER, M. J. Qualitative representation of change. In: FRANK, A. U.; HIRTLE (eds). **Spatial Information Theory - A Theoretical Basis For Gis** (International Conference Cosit'97) Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, . 1997, p. 15-33.

HORNSBY, K.; EGENHOFER, M. J., Identity-based change: a foundation for spatio-temporal knowledge representation. **International Journal of Geographical Information Science**. v.14, n.3, p.207-224, 2000.

HUDAK, P. Conception, evolution, and application of functional programming languages. **ACM Comput. Surv.**, v.21, n.3, p.359-411, 1989.

HUDAK, P., et al. A gentle introduction to Haskell 98 1999.

JACK R. MEREDITH, SAMUEL J. MANTEL, JR. **Project management: amanagerial approach**. 6. ed. Dec. 2005. (Hardcover).

KAVOURAS, M. Understanding and modelling spatial change. In: FRANK A. RAPER J.; CHEYLAN J.P.(eds.) **Life and motion of socio-economic units**. London: Taylor & Francis, cap. 4, 2001.(GISDATA Series 8).

KUHN, W. Ontologies in support of activities in geographical space. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 15, n.7, p. 613-631, 2001.

LANGRAN. G. **Time in geographic information systems**. Washington, DC: Taylor & Francis, 1993.

LIFSCHITZ, V. On the logic of causal explanation. **Artificial Intelligence**, v.96, n.2 , p. 451-465. 1997.

MARK, D., FREKSA, C., HIRTLE, S., LLOYD, R.; TVERSKY, B. Cognitive Models of Geographic Space. **International Journal of Geographical Information Science**, v.13, n. 8, p. 747-774, 1999.

MCCARTHY, J., HAYES, P.J. Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. In:MELTZER, B.; MICHIE, D. (ed.). **Machine intelligence 4.**, Edinburgh: Edinburgh University Press, p. 463-502, 1969.

MEDAK, D. **Lifestyles** - a new paradigm in spatio-temporal databases. Ph.D. Thesis. Technical University of Vienna, 1999. (ESF Series).

MEDAK, D. Lifestyles. In: FRANK, A. U.; RAPER, J.; CHEYLAN, J. (eds.). **Life and motion of socio-economic units**. London: Taylor & Francis, p.353, 2001. (ESF Series).

MODER, J.J.; PHILLIPS, C. R.; DAVIS. E.W. **Project management with COM, PERT, and precedence diagramming**, 3. ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983.

NAIK, B. **Project management: scheduling and monitoring by PERT/COM**. Advent Books, 1984.

National Research Council. (NRC). Procedures and standards for a multipurpose Cadastre”. Washington: Academy Press, 1983, 112 p.

NETO, 1998 Pagina 33

PEERBOCUS, M. A.; BAUZER ., C. M. M...; VOISARD, A. ; JOMIER, G. 2004. A System for Change Documentation based on a Spatiotemporal Database;**Geoinformatica** (Dordrecht), Kluwer Academic Publishers: PIA, v. 8, n. 2, pp. 173- 204,:

PEYTON JONES, S. Haskell 98 Language and Libraries the Revised Report 2002.

PEYTON JONES, S., et al. Haskell 98: A Non-Strict, Purely Functional Language 1999.

PEYTON JONES, S., et al. Scripting Com somponents in Haskell. In: International Conference on Software Reuse IEEE Computer Society, 5., 1998. Local. **Proceedings...** IEEE, 1998, 224 p

PRADO, D. **Administração de projetos com PERT/CPM**. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1988. 126p. ISBN 8521603355.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (PBH). **GTCL - apresentação grupo de compatibilização de lotes**. Belo Horizonte, abr 2003. Documento Interno.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (PBH). **GTCL - apresentação grupo de compatibilização de lotes**. Belo Horizonte, maio 2003. Documento Interno.

RAUBAL, M.; KUHN, W. Ontology-Based Task Simulation. **Spatial Cognition and Computation**. v. 4, n. 1, pp. 15-37. 2004.

RENOLLEN, A. **Temporal maps and temporal geographical information systems. review of research. department of surveying and mapping (IKO)**. The Norwegian Institute of Technology. November, 1995 revised February 1997.

SEARLE, J. R. Rationality and Realism, What is at Stake? **Journal Daedalus**, v. 122, n.4, 1993.

SEARLE, J. R. **The Construction of social reality**. New Work: The Free Press,1995.

SMITH, B. Objects and their environments: from aristotle to ecological ontology. In: Frank, A. U.; Raper, J., and J.-P. Cheylan (eds.). **Life and motion of socio-economic units**. London: Taylor & Francis, 2001.

SMITH, B. Ontology and information systems. In: ZALTA, E. N. (ed.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. Stanford: The Metaphysics Research Lab, Center for the Study of Language and Information, 2003. University. Stanford.

SMITH, B.; MARK, D. Ontology and Geographic Kinds. In: International Symposium on Spatial Data Handling. Vancouver, Canada, 1998. **Proceedings...** Vancouver, p. 308-320. Editors.

SMITH, B.; SEARLE, J. The construction of social reality: an exchange. **American Journal of Economics and Sociology**, 60, 2001.

SNODGRASS, R. T. Temporal Databases. In: FRANK, A. U.; CAMPARI, I. ; FORMENTINI, U. (eds). **Theories and methods of spatio-** temporal reasoning in geographic space. Heidelberg-Berlin: Springer-Verlag, p. 22-64. 1992.

SNODGRASS, R. Temporal databases: Status and research directions. **Sigmod Record**, v.19, n.4, p. 83–89, 1990.

THOMPSON, S. **Haskell**: the craft of functional programming. Harlow, England: Pearson Education, 1999.

USCHOLD, M.; GRÜNINGER, M. Ontologies: principles, methods and applications. **Knowledge Engineering Review**, v. 11, n.2, p. 93 -155, 2001.

WORBOYS, M. Event-oriented approaches to geographic phenomena. **International Journal of Geographic Information Systems**, 2005.

WORBOYS, M.; DUCKHAM, M. **GIS a computing perspective**. 2. ed. . Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2004. 246 p.

WORBOYS, M.; HORNSBY, K. From objects to events: GEM, the geospatial event model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GISCIENCE, 3., 2004, Adelphi, MD, USA. Springer, p. 327-343. volume 3234 Pusher Serie title **Lecture Notes in Computer Science Publisher** Springer-Verlag Local Conference Berlin Heidelberg New York EGENHOFER, M. J.; FREKSA, C. e MILLER, H. J. (eds.)